

N<sup>o</sup> D'ORDRE  
**791**

# THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

Par **JULIEN LEFÈVRE**

Ancien Élève de l'École Normale  
Professeur au Lycée et à l'École des Sciences de Nantes  
Professeur suppléant à l'École de Médecine

1<sup>re</sup> THÈSE. — RECHERCHES SUR LES DIÉLECTRIQUES

2<sup>e</sup> THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Soutenues, le <sup>28</sup> 43 Juin 1893, devant la Commission d'Examen

MM. TROOST, *président.*  
BOUTY  
PELLAT } *examineurs*

NANTES

IMPRIMERIE ÉMILE GRIMAUD

4, PLACE DU COMMERCE, 4

1893

pr.

N<sup>o</sup> D'ORDRE  
**791**

---

# THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

Par **JULIEN LEFÈVRE**

Ancien Élève de l'École Normale  
Professeur au Lycée et à l'École des Sciences de Nantes  
Professeur suppléant à l'École de Médecine

---

1<sup>re</sup> THÈSE. — RECHERCHES SUR LES DIÉLECTRIQUES

2<sup>e</sup> THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

---

*28*  
Soutenues, le **22 Juin 1893**, devant la Commission d'Examen

---

MM. TROOST, *président.*  
BOUTY } *examinateurs*  
PELLAT }

---

**NANTES**

IMPRIMERIE ÉMILE GRIMAUD

4, PLACE DU COMMERCE, 4

---

1893

# ACADÉMIE DE PARIS

## FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

|                           |                          |                                                 |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------|
| Doyen.....                | DARBOUX, professeur..... | Géométrie supérieure.                           |
| Professeurs honoraires. } | PASTEUR.                 |                                                 |
|                           | DUCHARTRE.               |                                                 |
|                           | DE LACAZE-DUTHIERS...    | Zoologie, Anatomie, Physiologie comparées.      |
|                           | HERMITE.....             | Algèbre supérieure.                             |
|                           | TROOST.....              | Chimie.                                         |
|                           | FRIEDEL.....             | Chimie organique.                               |
|                           | TISSERAND.....           | Astronomie.                                     |
|                           | LIPPMANN.....            | Physique.                                       |
|                           | HAUTEFEUILLE.....        | Minéralogie.                                    |
|                           | BOUTY.....               | Physique.                                       |
|                           | APPELL.....              | Mécanique rationnelle.                          |
|                           | DUCLAUX.....             | Chimie biologique.                              |
| Professeurs.....          | BOUSSINESQ.....          | Mécanique physique et expérimentale.            |
|                           | PICARD.....              | Calcul différentiel et calcul intégral.         |
|                           | POINCARÉ.....            | Calcul des probabilités, Physique mathématique. |
|                           | Y. DELAGE.....           | Zoologie, Anatomie, Physiologie comparées.      |
|                           | G. BONNIER.....          | Botanique.                                      |
|                           | DASTRE.....              | Physiologie.                                    |
|                           | DITTE.....               | Chimie.                                         |
|                           | MUNIER-CHALMAS.....      | Géologie.                                       |
|                           | GIARD.....               | Évolution des êtres organisés.                  |
|                           | WOLF.....                | Astronomie.                                     |
|                           | CHATIN.....              | Zoologie, Anatomie, Physiologie comparées.      |
| Professeurs adjoints....  | JOLY.....                | Chimie.                                         |
|                           | PELLAT.....              | Physique.                                       |
| Secrétaire.....           | FOUSSEREAU.              |                                                 |

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE



Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41552012\\_0018](https://archive.org/details/IA41552012_0018)

# PREMIÈRE THÈSE

---

## RECHERCHES SUR LES DIÉLECTRIQUES

---

### CHAPITRE I

#### Historique

Depuis que Faraday a signalé de nouveau l'existence de la capacité inductive spécifique, déjà observée au siècle dernier par Wilke et par Cavendish, un grand nombre de travaux ont été publiés sur les propriétés des diélectriques. Mais la plupart se sont bornés à la mesure du pouvoir inducteur, ou à la comparaison de cette quantité avec l'indice de réfraction, dans le but de vérifier la loi de Maxwell. D'ailleurs, les résultats trouvés par les divers observateurs sont loin d'être très concordants.

Nous nous sommes proposé d'étudier expérimentalement deux cas relativement simples de la théorie des diélectriques; nous avons pris d'abord celui où le champ est dû à un seul point électrisé, nous avons cherché comment ce champ est modifié par l'introduction d'une lame diélectrique, et s'il est possible de retrouver par ce procédé la valeur de la capacité inductive; nous avons examiné aussi comment varie l'attraction de deux plateaux parallèles lorsqu'ils sont séparés soit par une couche d'air, soit par une lame diélectrique.

Nous résumerons d'abord les principaux travaux relatifs aux diélectriques, en commençant par ceux qui se rapportent plus ou moins direc-

tement à la mesure de la capacité inductive des solides et des liquides, puis des gaz. Parmi ces travaux, un certain nombre sont assez connus pour qu'il suffise de les rappeler sommairement.

*Mesure de la constante diélectrique des solides et des liquides.* — Wilke aurait, dit-on <sup>1</sup>, observé le premier, en 1758, que la capacité d'un condensateur à lame de cire d'Espagne était plus grande que celle d'un condensateur identique à lame de soufre, d'huile ou d'air; mais il ne put faire aucune mesure.

En 1771, Cavendish reconnut également <sup>2</sup> que la capacité d'un condensateur change lorsque, sans modifier en rien les dimensions et la distance des deux armatures, on fait varier la nature de la lame isolante qui les sépare.

Dans une série de recherches exécutées entre 1771 et 1781, il mesura les capacités d'un certain nombre de condensateurs, formés chacun d'une plaque isolante, sur les faces de laquelle on avait collé des disques circulaires de feuilles d'étain. Il avait construit d'abord dix condensateurs étalons ou *plateaux d'épreuve*, dont il détermina les capacités par comparaison avec celle d'une sphère de 12 pouces 5 lignes (31,25 centim.) de diamètre, prise pour unité. Ces capacités étaient graduées de façon qu'on pût réaliser à volonté, en associant plusieurs condensateurs, une capacité quelconque comprise entre 1 et 66. Il y avait

|                          |   |   |    |
|--------------------------|---|---|----|
| 3 plateaux de capacité 1 |   |   |    |
| 3                        | — | — | 3  |
| 3                        | — | — | 9  |
| 1                        | — | — | 27 |

Enfin, l'un des condensateurs était muni d'une lame conductrice pouvant glisser pour faire varier un peu la capacité.

Pour faire les mesures, on reliait chacune des armatures A et A' du condensateur étudié à l'armature correspondante d'un condensateur étalon BB'; puis on faisait communiquer les plateaux A et B avec le bou-

1. *Physik. Wörterbuch von Gehler* (neu bearbeitet von Brandes, Gmelin, Horner, Muncke und Pfaff) 1827, t. IV, 1 abth., p. 364.

2. *The electrical researches of the Hon. Henry Cavendish, F. R. S.*, publié par J. Clerk Maxwell, F. R. S., Cambridge, Univ. Press, 1879.

ton d'une bouteille de Leyde, A' et B' avec le sol. L'appareil chargé, on rompait les communications, puis l'on reliait A avec B', A' et B avec la terre. Si les deux condensateurs avaient même capacité, les charges de A et de B' se neutralisaient. Si la capacité de A A' était la plus grande, AB' restait chargé positivement ; on comparait alors AA' avec un autre condensateur étalon, jusqu'à ce qu'on en trouvât un de même capacité. Les plateaux d'épreuve étaient gradués par rapport à la sphère d'une manière analogue.

Cavendish calculait ensuite quel aurait dû être le rapport des charges des condensateurs et de la sphère, si l'air avait été substitué au diélectrique. Le rapport de la charge observée à la charge calculée donnait la constante diélectrique. Les expériences ont porté sur le flint, le crown, la gomme laque et la cire d'abeilles.

Les recherches de Cavendish étaient encore ignorées lorsque Belli reconnut également l'influence des lames isolantes, et fit un certain nombre de mesures, entre 1830 et 1837<sup>1</sup>, à l'aide d'un appareil à condensation ; il émit, ainsi qu'Avogadro<sup>2</sup>, des idées analogues à celles de Faraday sur la polarisation.

En 1837, Faraday<sup>3</sup>, ignorant les expériences de Cavendish, découvrit de nouveau l'existence du pouvoir inducteur, et le mesura pour le flint, le soufre, la gomme laque et l'essence de térébenthine.

Il se servait de deux condensateurs sphériques identiques : l'intervalle entre les deux sphères était rempli dans l'un par l'air, dans l'autre par une substance isolante. Le premier était chargé, puis on faisait communiquer son armature intérieure avec celle du second, et l'on déterminait, avec la balance de Coulomb et le plan d'épreuve, les charges  $m$  et  $m'$  de la première armature dans les deux cas. Le pouvoir inducteur du diélectrique était

$$\frac{m-m'}{m'} = \frac{t-t'}{t'}$$

$t$  et  $t'$  étant les torsions observées dans la balance, pour une même charge de la boule mobile.

1. GIUSEPPE BELLI, *Corso elementare di Fisica sperimentale*. Milano, 1830-38, t. III, p. 239.

2. *Journal de Physique de la Méthérie*, t. LXIII-LXV.

3. *Experimental Researches*, t. I, page 371.

En réalité Faraday donnait souvent au diélectrique la forme d'une coupe hémisphérique et calculait l'effet qu'on aurait obtenu en en remplissant tout l'espace compris entre les sphères. Si le rapport des capacités était  $1 + \alpha$  avec la couche hémisphérique, la constante diélectrique était  $1 + 2\alpha$ .

Faraday a fait aussi, avec le même appareil, de nombreuses expériences sur les gaz : il ne trouva aucune différence entre les divers gaz, ni entre l'air sec et l'air humide.

Harris<sup>1</sup> a repris les expériences de Faraday en remplaçant les sphères par des plateaux parallèles et a obtenu à peu près les mêmes résultats. Matteucci<sup>2</sup> fit un grand nombre d'expériences sur le même sujet. M. Siemens<sup>3</sup> mesurait les pouvoirs inducteurs en chargeant un condensateur avec une pile et déterminant avec une boussole les intensités des courants de charge et de décharge.

Mais les observateurs précédents avaient négligé dans leurs expériences un élément dont le rôle important fut mis en évidence par M. Gaugain en 1862 : c'est la durée de la charge.

M. Gaugain, ayant remarqué que la quantité d'électricité qui s'accumule sur un câble immergé, dont l'âme communique avec une source électrique, varie beaucoup avec le temps, fut conduit à étudier<sup>4</sup> les différentes circonstances que présente la charge d'un condensateur à lame isolante solide : la durée, la charge maximum et la charge minimum, la décharge brusque, la décharge lente, la charge résiduelle.

Il a observé qu'un condensateur à lame d'air se charge instantanément, tandis qu'un condensateur à lame solide prend une charge qui augmente avec le temps. Ainsi, dans un condensateur formé de deux plateaux de laiton de 7,5 centim. de diamètre séparés par un disque de soufre de 0,6 cm. d'épaisseur, la charge, au bout d'une heure, avait pris une valeur double de celle qu'elle avait à l'origine, et le maximum n'était pas atteint. Il a étudié la charge maxima pour des condensateurs dont la lame isolante était en contact avec les deux armatures et pour d'autres dans lesquels cette lame était séparée des armatures par des lames d'air. Pour

1. *Phil. Trans.*, 1842, t. I, p. 165.

2. *Nuovo Cimento*, 1859 ; *Ann. de Chimie et de Phys.*, 1849, 1859.

3. *Ann. de Pogg.*, 1857.

4. *Ann. de Chimie et de Physique*, 3<sup>e</sup> série, t. LXIV, p. 174 et 4<sup>e</sup> série, t. II, p. 264.

ces derniers, il a déterminé d'abord la charge limite obtenue en remplaçant le diélectrique par une plaque de métal ; cette limite est atteinte dans un temps extrêmement court, et sa grandeur ne dépend que de la somme des épaisseurs d'air situées de part et d'autre de la plaque. En substituant au métal une lame isolante, la charge limite n'est atteinte qu'au bout d'un temps plus ou moins long, mais elle est généralement égale à celle que donne instantanément une plaque métallique, et indépendante de la nature et de l'épaisseur du diélectrique, pourvu que cette épaisseur ne dépasse pas une certaine valeur. M. Mascart<sup>1</sup> pense que ce résultat est dû, au moins en grande partie, à la conductibilité superficielle de toutes les surfaces des corps solides exposés à l'air.

Lorsque les armatures sont en contact avec la lame diélectrique, la charge limite est beaucoup plus forte que dans le cas précédent, et elle n'est atteinte qu'après un temps beaucoup plus long. Les expériences sont plus difficiles ; elles paraissent indiquer cependant que la charge maxima varie avec la nature de la plaque isolante.

M. Gaugain a constaté aussi que la charge minima diminue avec la durée, et il a déterminé les pouvoirs inducteurs de divers isolants solides, d'abord pour un contact aussi court que possible, puis pour un contact de deux secondes. Il est à remarquer que, non seulement les capacités inductives varient avec la durée de la charge, mais leur ordre de grandeur varie également : ainsi la capacité du soufre est plus grande que celle de l'acide stéarique pour un contact très court, elle est plus petite pour un contact de deux secondes. Il attribuait ces résultats au défaut d'homogénéité des milieux isolants, et les considérait comme formés d'une masse absolument isolante, dans laquelle seraient disséminées de petites masses parfaitement conductrices et une substance homogène douée d'une faible conductibilité : le premier milieu atteindrait immédiatement son état électrique définitif et pourrait l'emporter pendant les premiers instants ; puis le milieu homogène prendrait le dessus après une charge suffisamment prolongée.

M. Gaugain a étudié enfin la charge résiduelle et vérifié que, quelle que soit la durée de la charge, la différence entre la charge totale et la charge résiduelle est constante et égale à la charge instantanée ; ce fait

1. *Traité d'Électricité statique*, t. I, p. 487.

s'expliquerait facilement par l'hypothèse d'éléments médiocrement conducteurs dans le diélectrique. Il faut remarquer que tous ces résultats ont été vérifiés seulement pour des potentiels très faibles et avec des condensateurs à plateaux.

MM. Gibson et Barclay <sup>1</sup> ont mesuré la capacité inductive de la paraffine en se servant d'un platymètre et d'un condensateur à glissement, dont l'idée première est due à sir W. Thomson.

Le platymètre est un condensateur double, formé de deux anneaux cylindriques A et A', de même longueur et de même rayon, isolés et disposés autour d'un long cylindre BB' de même axe, qui communiquait avec l'une des paires de secteurs d'un électromètre de Thomson, dont l'autre paire était reliée au sol.

Si l'on charge l'anneau A, positivement par exemple, le cylindre BB' étant mis un instant à la terre, l'électromètre n'est pas dévié. Il reste encore au zéro si l'on réunit les anneaux A et A'. On faisait alors communiquer l'anneau A avec un condensateur sphérique C, à lame d'air, et l'anneau A' avec un condensateur à glissement D, formé de deux tubes concentriques dont l'un pouvait s'enfoncer plus ou moins complètement dans l'autre. Les condensateurs C et D avaient l'une de leurs armatures reliée au sol. On faisait ensuite varier la capacité du condensateur D jusqu'à ce que l'électromètre revint au zéro : elle était alors égale à celle du condensateur sphérique C. On remplaçait enfin celui-ci par un condensateur cylindrique à lame de paraffine P, dont on mesurait de même la capacité à l'aide du condensateur à glissement, et l'on calculait la capacité inductive spécifique de la paraffine, en tenant compte des différences de forme et de dimensions des condensateurs C et P. MM. Gibson et Barclay ont trouvé cette capacité inductive égale à 1,977, et ils ont constaté qu'elle ne change pas sensiblement entre  $-12^{\circ}$  et  $+24^{\circ}$ , 3.

En 1873 et 1874, M. Boltzmann fit sur le pouvoir inducteur des solides plusieurs séries de recherches, qui furent continuées par ses élèves MM. Romich, Fajdiga et Nowak.

Dans une première série <sup>2</sup>, M. Boltzmann employa des condensateurs

1. *Phil. Trans.*, fév. 1871, page 573.

2. *Wiener Sitzungsberichte*, vol. LXVII, part. II, p. 17 ; *Carl's Repertorium*, X, p. 109 ; *Pogg. Ann.*, t. CII, p. 482 et 531 ; *Journ. de Phys.*, t. III, p. 376.

verticaux, à plateaux parallèles, dont il déterminait la capacité avec un électromètre à quadrants. Les deux plateaux métalliques isolés étaient montés sur une glissière graduée, qui faisait connaître leur écartement. On plaçait entre ces plateaux un diélectrique, qui en était généralement séparé par deux lames d'air, et l'on mesurait le rapport des capacités dans les deux cas.

Pour cela, on charge d'abord l'électromètre seul avec une pile de 18 éléments Daniell, et l'on mesure la déviation  $\alpha$ . On charge alors le condensateur seul, sans diélectrique, qu'on isole et qu'on relie ensuite avec l'électromètre ; on a une nouvelle déviation  $\alpha'$ . Soient  $C$  et  $C'$  les capacités de l'électromètre et du condensateur à lame d'air,

$$\frac{\alpha}{\alpha'} = \frac{C + C'}{C'}$$

On recharge ensuite le condensateur, après avoir placé la lame diélectrique, et l'on mesure encore sa capacité  $C''$  en le mettant en communication avec l'électromètre, dont on note la déviation  $\alpha''$ .

$$\frac{\alpha}{\alpha''} = \frac{C + C''}{C'}$$

On a donc

$$\frac{C''}{C'} = \frac{\alpha - \alpha'}{\alpha - \alpha'} \frac{\alpha''}{\alpha'}$$

Le rapport  $\frac{C''}{C'}$  ne représente pas exactement la capacité inductive, car il faut tenir compte des deux lames d'air qui se trouvent de part et d'autre du diélectrique. Si  $d$  est la distance des plateaux,  $e$  l'épaisseur de la plaque isolante,

$$\frac{C''}{C'} = \frac{d}{d - e + \frac{e}{k}}$$

$k$  étant la capacité inductive.

Pour examiner les effets de l'absorption, M. Boltzmann fit varier la durée de la charge depuis une fraction de seconde jusqu'à deux minutes. Il n'observa aucune différence dans les résultats pour les subs-

tances bien isolantes (ébonite, paraffine, soufre, résine). Il essaya aussi quelques matières imparfaitement isolantes, verre, stéarine, gutta-percha, etc., mais ne put obtenir aucune concordance dans les résultats.

Une seconde série d'expériences <sup>1</sup> fut faite par une méthode toute différente en collaboration avec M. Romich. La constante diélectrique était déduite de la comparaison des attractions exercées sur une balle métallique et sur une balle isolante de même poids par une boule fixe, maintenue à un potentiel constant.

L'appareil de mesure était une balance de torsion, à suspension bifilaire, dont l'aiguille A portait, à l'une de ses extrémités, un petit miroir *m* servant à la lecture des déviations, à l'autre un fil fin, formant une autre suspension bifilaire, au bas de laquelle on accrochait la boule mobile L. Les plans des deux suspensions étaient parallèles entre eux, et perpendiculaires à la direction de l'aiguille. Cette aiguille était enfermée dans une cage triangulaire.

La boule métallique fixe M avait 2,05 cm. de rayon. Pour qu'on pût constater la constance de sa charge, elle était reliée à la boule fixe d'une autre balance de torsion servant d'électromètre : l'aiguille mobile PP' de cette balance était portée par une suspension bifilaire et communiquait avec le sol par l'intermédiaire d'une palette plongeant dans l'acide sulfurique étendu, servant à amortir les oscillations. Les déviations de cet électromètre étaient observées par la méthode du miroir. L'appareil tout entier était protégé contre les courants d'air par une cage de verre, dont l'intérieur était recouvert presque complètement par une feuille d'étain reliée à la terre ; la face antérieure était fermée par une glace plane, à travers laquelle on observait les deux miroirs. Une petite porte permettait de changer la balle mobile L, et une pince immobilisait l'aiguille A pendant qu'on faisait cet échange. Lorsque le miroir *m* et la balle L ne se faisaient pas exactement équilibre, on faisait glisser l'aiguille A sur l'étrier qui la rattachait à la suspension bifilaire.

Dans les premières expériences, la boule M était chargée à l'aide d'une bouteille de Leyde et son potentiel était mesuré avec un micromètre à étincelles. A l'aide d'un fil recourbé, suspendu à un pendule, on établissait et on rompait le contact à de courts intervalles (moins de 0,1 se-

1. *Wiener Sitz.*, vol. LXVIII, part. II, p. 84 ; *Journ. de Phys.*, t. III, p. 159.

conde), afin d'éviter les effets de l'absorption. Dans les expériences suivantes, les auteurs adoptèrent une meilleure disposition pour se mettre en garde contre cette cause d'erreur. La boule M était reliée à un diapason faisant 180 vibrations par seconde, et portant, au bout d'une de ses branches, une lame métallique qui, à chaque oscillation, venait toucher alternativement deux fils communiquant avec les deux pôles d'une machine de Holtz. Enfin, pour prévenir l'accumulation de l'une ou l'autre électricité, le diapason était relié à la terre par un long tube de verre de petit diamètre, rempli d'eau distillée. Cette dérivation, très résistante, ne laisse subsister sur la boule M aucune charge permanente, mais elle n'a pas d'effet sensible sur les charges alternatives, dont la durée n'est que  $\frac{1}{180}$  seconde.

Pour donner à la balle mobile L le même poids, qu'elle fût en métal ou en matière isolante, on coulait dans un même moule deux balles de la même substance, puis on prenait la plus lourde pour en faire la balle métallique : on y perçait de petits trous, jusqu'à ce qu'elle fût exactement de même poids que l'autre, et l'on dorait sa surface.

Les auteurs n'ont pas trouvé nécessaire de maintenir le potentiel de la boule M absolument constant ; ils tenaient compte de ses petites variations en observant les déviations de l'aiguille PP'. On tint compte de la petite différence de volume de la balle métallique et de la balle isolante et aussi de ce fait que les deux balles, lorsqu'elles étaient attirées, se fixaient à des distances différentes de la boule M <sup>1</sup>.

Pour faire l'expérience, on plaçait d'abord en L la balle isolante, puis la balle métallique et de nouveau la balle isolante. On mesurait ainsi le rapport E des attractions exercées par la boule fixe M sur la balle métallique et sur la balle isolante, et l'on en déduisait la capacité inductive spécifique par la formule

$$E = \frac{k + 2}{k - 1}$$

Les expériences ont porté sur le soufre, l'ébonite, la paraffine, la résine. Pour le soufre cristallisé <sup>2</sup>, on a trouvé des valeurs différentes pour des directions inégalement inclinées sur les axes cristallographiques.

<sup>1</sup>. Les corrections sont indiquées en partie dans un mémoire ultérieur. *Wien. Sitz.*, t. LXX, part. II, p. 307.

<sup>2</sup>. *Ibid.*, p. 342.

M. Boltzmann a cherché aussi à vérifier si ses résultats étaient conformes à la théorie par laquelle Maxwell a démontré <sup>1</sup> que la constante diélectrique doit être égale au carré de l'indice de réfraction. Cette égalité n'était pas suffisamment vérifiée, mais les deux quantités variaient dans le même sens.

MM. Romich et Fajdiga ont continué les recherches précédentes <sup>2</sup>, dans le but de déterminer si les différences d'attraction observées dépendaient seulement de la nature de la surface ou de celle de la balle entière. Ils ont trouvé que l'attraction ne change pas quand on enduit la balle isolante d'une couche *mince* d'une autre substance diélectrique.

MM. Romich et Nowak <sup>3</sup> se sont encore servis de la même méthode pour étudier l'absorption électrique. Ils firent deux séries de mesures, l'une en renversant la charge 64 fois par minute, l'autre en maintenant la balle active chargée de la même manière pendant toute la durée de l'expérience. Ils obtinrent des résultats assez constants pour les isolants parfaits, tandis que, pour les corps imparfaitement isolants, la capacité inductive semblait augmenter indéfiniment avec la durée de la charge.

A la même époque, M. Rossetti <sup>4</sup> a mesuré la constante diélectrique à l'aide de condensateurs à lame isolante. Pour éviter les objections relatives à la pénétration possible de l'électricité, le diélectrique étudié était séparé des armatures par deux plaques d'un autre isolant, qui restaient les mêmes pendant une série d'expériences, tandis que la lame intérieure changeait.

Les résultats fournis par diverses séries d'expériences étaient concordants, mais différaient un peu de ceux trouvés par d'autres auteurs.

M. Felici a publié également de 1872 à 1874 plusieurs mémoires sur les propriétés des diélectriques. Il a surtout cherché à mettre en évidence l'analogie de leur action avec les phénomènes magnétiques: il a démontré par des expériences nombreuses <sup>5</sup> que :

1° L'action exercée par l'une des faces d'un parallélépipède isolant,

1. *Phil. Transact.*, vol. CLV, part. I, p. 459.

2. *Wien. Sitz.*, t. LXX, part. II, p. 367.

3. *Wien. Sitz.*, t. LXX, part. II, p. 380.

4. *Il Nuovo Cimento*, t. IX, 1873, p. 170-226; *Journ. de Phys.*, t. III, p. 229.

5. *Nuovo Cimento*, t. V, VI, VII, 1872; *Journ. de Phys.* t. II, p. 75.

dont l'autre face est soumise à l'action d'un corps électrisé, part de tous les points de la masse et non de cette surface seule.

2° Elle est indépendante de l'état physique de cette surface et par suite n'est pas le résultat d'une espèce de semi-conductibilité, due par exemple à une couche d'humidité.

3° Elle se produit et cesse rapidement avec l'action électrique extérieure, comme l'aimantation et la désaimantation du fer doux.

4° Elle est, entre certaines limites et dans certaines circonstances, proportionnelle à l'action inductrice et à un certain coefficient qui dépend de la nature du diélectrique.

Voici la méthode employée par M. Felici <sup>1</sup>. Le diélectrique était interposé entre une sphère métallique électrisée S et un disque conducteur isolé D. Celui-ci était en communication avec les deux boules d'une balance de torsion A, dont l'aiguille mobile était portée par un fil d'argent long et fin et munie d'un petit miroir pour la lecture des déviations. Pour éviter les trépidations, cette aiguille et son micromètre étaient soutenus par un support isolant, fixé à des barres de fer qui entraient profondément dans un mur très solide. Le disque D était à 15 ou 20 cm. de la sphère S; dans cet intervalle, on plaçait un cube isolant, soutenu par deux lames de verre verticales, longues et minces.

La sphère S était en communication d'une part avec une machine électrique servant à la charger, d'autre part avec les deux boules d'une balance de torsion B servant à mesurer cette charge; la balance B était semblable à la balance A, mais son fil de suspension était plus gros et beaucoup plus court, et l'on mesurait ses déviations sur un cadran ordinaire. Un écran métallique L de grandes dimensions, était placé verticalement entre la sphère S et le cube isolant et protégeait celui-ci pendant les opérations préliminaires. Une grande caisse à vitrage recouvrait tout l'appareil; l'air intérieur était maintenu parfaitement sec.

Pour faire une opération, on chargeait la sphère S, puis on reliait la machine au sol. On notait la déviation de la balance B, puis on isolait la sphère et on mettait la balance à la terre. On abaissait rapidement l'écran L à une distance suffisante de l'appareil, on lisait la déviation impulsive de la balance A et l'on mettait toutes les pièces en communi-

1. *Journ. de Phys.*, t. III. p. 329.

cation avec le sol. Toutes les opérations se faisaient en une minute à peu près, à l'aide de leviers aboutissant au dehors de la caisse.

Tous les cubes étaient maintenus plusieurs mois à l'intérieur de la caisse avant d'être employés.

M. Felici n'a pas déduit de ces expériences la valeur de la constante diélectrique pour les corps employés ; mais M. Rossetti a fait ce calcul, et a trouvé des nombres sensiblement égaux à ceux qu'il avait obtenus lui-même par la méthode que nous avons rappelée plus haut. Ainsi, pour le verre, M. Rossetti a trouvé 3,45, et il a déduit des expériences de M. Felici le nombre 3,35 ; ces résultats diffèrent peu de ceux obtenus depuis par M. Gordon.

Dans un autre travail <sup>1</sup>, M. Felici s'est attaché à mesurer avec soin le temps de la dépolarisation, et l'a trouvé inférieur à  $\frac{1}{1000}$  de seconde, ce qui confirme l'analogie avec le fer doux. Il s'est servi pour cela du même appareil, mais en le simplifiant.

En 1874, M. Schiller <sup>2</sup> a déterminé le pouvoir inducteur de plusieurs solides, verre, paraffine, ébonite, caoutchouc, par la méthode des *oscillations électriques*, qui a l'avantage d'éliminer absolument l'influence du temps, la durée de la charge étant d'environ  $\frac{1}{20000}$  de seconde.

On sait que, si l'on interrompt brusquement le courant dans une bobine inductrice A, les deux extrémités de la bobine induite B étant isolées l'une de l'autre, il se produit dans celle-ci une série d'oscillations extrêmement rapides ; par suite, si l'un des pôles de B est mis à la terre, l'autre passera par une succession rapide de potentiels positifs et négatifs.

La durée de ces oscillations, toujours très petite, dépend de la capacité de la bobine B ; elle est proportionnelle à sa racine carrée. Si l'on fait communiquer les deux pôles de B avec les armatures d'un condensateur, la capacité totale est égale à la somme des capacités, et la durée des oscillations est augmentée proportionnellement. En employant successivement deux condensateurs de mêmes dimensions, l'un à lame d'air, l'autre à diélectrique solide, les durées d'oscillations dans les deux cas

1. *Nuovo Cim.*, t. IX, 1873 ; *Journ. de Phys.*, t. III, p. 229.

2. *Pogg. Ann.*, t. CLII, 1874, p. 535.

permettent de déterminer le rapport des capacités, et par suite le pouvoir inducteur du diélectrique.

La bobine inductrice A communiquait avec un élément Daniell et une clef de contact P'. L'un des pôles de la bobine induite B était relié avec une autre clef de contact P, l'une des armatures d'un condensateur et l'une des paires de quadrants d'un électromètre Thomson. L'autre armature, l'autre paire de quadrants et l'autre pôle de B étaient mis à la terre.

Les clefs de contact P et P' étaient d'abord fermées par des leviers placés sur la même ligne horizontale; elles étaient ensuite ouvertes par un lourd pendule, retenu dans la position horizontale par un électro-aimant et qui, lorsqu'il était laissé libre, venait frapper les deux leviers au moment du passage à la verticale. La clef P pouvait être déplacée parallèlement à elle-même au moyen d'une vis micrométrique, de façon que le pendule vint l'ouvrir un temps variable après la clef P'.

On plaçait d'abord la clef P de manière à n'avoir pas de déviation de l'électromètre, ce qui indiquait qu'on avait rompu le circuit secondaire au moment où le potentiel était zéro. A l'aide de la vis micrométrique, on déplaçait la clef P jusqu'à ce que la déviation devînt nulle de nouveau. L'appareil ayant été préalablement taré à l'aide d'un galvanomètre différentiel, la différence des deux positions de la clef, indiquée par une échelle graduée et par les divisions du tambour de la vis, donnait la durée d'une oscillation.

Soient  $t_0$ ,  $t_1$  et  $t_2$  les durées d'oscillations avec la bobine seule, avec la bobine et un condensateur à lame d'air, et enfin avec la bobine et le même condensateur muni d'une lame isolante. La constante diélectrique est

$$K = \frac{t_2^2 - t_0^2}{t_1^2 - t_0^2}$$

M. Schiller fit aussi quelques expériences dans lesquelles un condensateur était chargé, puis déchargé, à travers un galvanomètre 20 à 25 fois par seconde. Le rapport des déviations de l'aiguille, suivant que le condensateur renfermait un diélectrique solide ou une lame d'air, donnait le pouvoir inducteur. Les nombres donnés par cette méthode sont un peu plus grands que les premiers résultats.

En 1875 et 1876, M. Silow publia quelques expériences sur la constante

diélectrique des liquides. Les premières <sup>1</sup> ont été faites avec un électromètre formé d'un cylindre de verre, dont la surface latérale était revêtue à l'intérieur d'une feuille d'étain, divisée en quatre secteurs, qui étaient réunis en croix comme les quadrants de l'électromètre de Thomson. L'aiguille était formée d'une tige légère portant à ses extrémités des pièces métalliques recourbées parallèlement aux parois du cylindre ; elle était en communication permanente avec le sol, et les deux paires de quadrants avec les deux pôles d'une pile. Les déviations étaient observées à l'aide d'un miroir.

L'appareil ainsi disposé, on notait la déviation de l'aiguille, le cylindre étant plein d'air, puis celle que produisait la même pile, le cylindre étant rempli de liquide.

Si l'appareil eût été parfaitement symétrique, le rapport de la seconde déviation à la première aurait donné la capacité inductive du liquide. Mais, pour éviter les irrégularités de construction inévitables, on graduait d'abord l'instrument en observant les déviations produites par différentes piles.

Dans une seconde série d'expériences <sup>2</sup>, M. Silow se servit d'un condensateur et d'un galvanomètre. A l'aide d'un interrupteur rapide, le condensateur était chargé, puis déchargé à travers le galvanomètre de 900 à 1500 fois par minute. En opérant successivement avec le même condensateur, muni d'une lame diélectrique ou d'air, on avait le pouvoir inducteur. Les expériences ont porté sur l'essence de térébenthine, le pétrole et le benzol cristallisé. On n'a pas pu obtenir de déviations dans l'alcool.

M. Root <sup>3</sup> a fait à la même époque quelques expériences sur les diélectriques, dans lesquelles il a cherché à montrer l'existence de la polarisation diélectrique et son opposition avec la conductibilité. Il se servait d'un condensateur chargé par une pile de 1000 Daniell ou de 5000 Gassiot; le sens de l'électrisation pouvait être changé jusqu'à 6000 fois par seconde.

En suspendant des plaques ou des boules cristallines entre les deux armatures et mesurant leur force directrice par la méthode des oscil-

1. *Pogg. Ann.*, t. CLVI, 1875, p. 389 ; *Journ. de Phys.*, t. VI, p. 99.

2. *Pogg. Ann.*, t. CLVIII, 1876, p. 306.

3. *Pogg. Ann.*, t. CLVIII, 1876, p. 425 ; *Journ. de Phys.*, t. VI, p. 33.

lations, il trouva que la polarisation diélectrique est complète en moins de 0,000 08 seconde. Pour l'arragonite, il trouva que l'influence de la conductibilité devient sensible après 0,020 8 seconde.

Il vérifia en outre que la constante diélectrique varie suivant les différentes directions d'un cristal comme l'indice de réfraction, et que la conductibilité est d'autant plus faible que le pouvoir inducteur est plus grand.

M. Wüllner <sup>1</sup> publia en 1877 quelques expériences sur la capacité inductive des solides. Il se servait d'un condensateur à plateaux horizontaux : le plateau inférieur, en communication avec le sol, supportait le diélectrique ; le plateau supérieur était fixé à une corde passant sur une poulie, qui permettait de l'abaisser ou de l'élever. La distance des plateaux était mesurée à l'aide d'un microscope. On chargeait le condensateur, puis on mesurait le potentiel, d'abord quand le diélectrique était interposé, puis lorsqu'il était enlevé. Le rapport de la seconde lecture à la première donnait le pouvoir inducteur. On tenait compte de la déperdition.

L'auteur, ayant reconnu que cette façon de procéder était peu rigoureuse, opéra ensuite autrement. Le condensateur était chargé au moyen d'une pile de 12 éléments, dont l'un des pôles était à la terre. La charge était mesurée à l'aide d'un électromètre dont on ramenait l'aiguille au zéro en tordant le fil de suspension.

Il calculait <sup>2</sup> et considérait comme mesure de l'influence une quantité  $\alpha$ , liée au pouvoir inducteur par la relation

$$k = \frac{1}{1 - \alpha}$$

Les valeurs de  $\alpha$  croissent avec le temps et peuvent être représentées par

$$\varepsilon - \alpha = (\varepsilon - \alpha_0) a^{-t}$$

$\alpha_0$  étant la valeur initiale,  $\varepsilon$  celle qui correspond à un temps infini, et  $a$  une constante qui dépend de la conductibilité.

1. *Sitzungsber.-Konigl. bayer. Akad.*, 1877, p. 1.

2. *Pogg. Ann.*, nouv. série, t. I, 1877, p. 247-361 ; *Journ. de Phys.*, t. VI, p. 324.

Il conclut de ces expériences que :

« L'épaisseur du diélectrique n'influe pas sur son pouvoir inducteur.

« Ce pouvoir augmente avec la durée de l'électrisation, rapidement d'abord, lentement ensuite, et tend vers un maximum fixe.

« La capacité que l'on atteint au bout d'un temps donné augmente par la répétition fréquente des expériences sur le même plateau, et aussi par la durée des charges. Par des charges fréquentes, on produit dans le soufre un accroissement de capacité qui dure très longtemps, mais finit par disparaître graduellement.

« La *capacité instantanée* est de nature tout autre que celle qui croît lentement avec la durée de l'électrisation. La première est indépendante de la conductibilité ; il n'en est pas de même de la capacité lente. »

Depuis cette époque <sup>1</sup>, M. Wullner a repris ses expériences pour étudier la pénétration et les variations du potentiel d'un condensateur avec le temps. Le condensateur ayant reçu une charge déterminée, on mesurait son potentiel avec un électromètre, d'abord de 20 en 20 secondes, puis à des intervalles d'une ou deux minutes. Les expériences ont porté sur des bouteilles de Leyde et sur des disques de verre, d'ébonite, de gomme laque, de paraffine, de soufre et de mica.

Le potentiel correspondant à une charge déterminée diminue d'abord très rapidement pendant les premières secondes, puis à peu près suivant une progression géométrique faiblement convergente. La loi de cette variation change avec la substance et quelquefois pour une même plaque. La mesure du pouvoir inducteur instantané donne aussi des nombres différents pour des substances en apparence identiques, mais constants pour une même lame.

Le 17 mai 1877, M. Hopkinson a communiqué à la Société Royale de Londres <sup>2</sup> quelques résultats relatifs à la constante diélectrique des diverses sortes de flint fabriquées par MM. Chance pour les usages optiques.

Il s'est servi d'un condensateur à plateaux horizontaux A, dont il mesurait la capacité à l'aide du condensateur à glissement B, construit pour les expériences de MM. Gibson et Barclay. Une pile de 42 éléments Da-

<sup>1</sup> *Wied Ann.*, t. XXXII, p. 49, 1887 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. VII, p. 448.

<sup>2</sup> *Phil. Trans.*, 1878, p. 17.

niell, reliée au sol par son milieu, était en communication par son pôle positif avec l'armature intérieure du condensateur à glissement, et par son pôle négatif avec le plateau supérieur du condensateur A, qui était muni d'un anneau de garde. Le plateau inférieur de A, qui pouvait s'élever ou s'abaisser au moyen d'une vis micrométrique, était relié à la terre, ainsi que l'armature extérieure de B. Le disque de verre ayant été introduit entre les plateaux de A, on lit la position de la vis micrométrique, on établit les communications avec la pile, puis, au moyen d'un commutateur, on isole la pile et l'on fait communiquer ensemble et avec un électromètre à quadrants le plateau supérieur de A et l'armature intérieure de B, qui ont été chargés à des potentiels égaux et contraires. Si les capacités des deux appareils sont égales, l'électromètre n'est pas dévié. Si elles ne le sont pas, on fait varier celle du condensateur à glissement jusqu'à ce que ce résultat soit atteint. On retire ensuite la lame de verre et l'on soulève le plateau inférieur de A jusqu'à ce que la capacité de ce condensateur redevienne égale à celle de B. On connaissait ainsi les épaisseurs d'air et de verre équivalentes.

M. Hopkinson a trouvé que le pouvoir inducteur du flint augmente avec sa densité. Il n'a pas comparé ses résultats avec les indices de réfraction. Si l'on admet que les échantillons employés satisfont à la loi de Newton, le rapport  $\frac{k-1}{d}$  ( $d$  étant la densité) doit être constant; on trouve 1,94; 1,83; 1,75; 2,0; les densités étant 2,87; 3,2; 3,66; 4,5.

M. J.-E.-H. Gordon a publié <sup>1</sup> en 1879 des mesures de capacités inductives spécifiques, faites par une méthode dont l'idée générale était due à sir W. Thomson et à Maxwell, et dans lesquelles il a évité avec le plus grand soin les effets de l'absorption, en ne donnant à la charge qu'une durée de  $\frac{1}{12000}$  de seconde. Ces expériences sont assez connues pour qu'il suffise de les rappeler sommairement.

L'appareil de M. Gordon, appelé balance d'induction électrostatique, est fondé sur le même principe que l'inductomètre employé par Faraday. C'est une sorte de condensateur formé de cinq disques métalliques verticaux et parallèles, A, B, C, D, E; les quatre derniers sont fixes; le premier peut être déplacé parallèlement à lui-même au moyen d'une vis mi-

1. *Phil. Trans.*, 1879, p. 417; GORDON, *Traité d'électricité*, traduit par J. Raynaud, t. I, p. 471.

crométrique. Les plateaux A, C, E ont 15 centim. de diamètre, B et D 10 centim.; la distance de deux plateaux voisins est d'environ 2,5 cm. Les plateaux B et D sont reliés respectivement aux deux paires de quadrants d'un électromètre. Le plateau C est en communication avec l'aiguille de cet instrument et avec l'un des pôles de la source; les deux plateaux AE communiquent avec l'autre pôle, et sont par suite portés constamment à un potentiel égal et de signe contraire à celui de C.

L'appareil étant ainsi disposé, l'électromètre reste au zéro. Mais, si l'on introduit entre A et B une lame isolante, il est dévié dans le même sens que si l'on rapprochait A de B. A l'aide de la vis micrométrique, on éloigne alors le plateau A jusqu'à ce que l'aiguille revienne au zéro, et on lit le déplacement  $d$  de ce plateau. Si  $e$  est l'épaisseur du diélectrique, le pouvoir inducteur est

$$k = \frac{e}{e - d}$$

Pour éviter les effets de l'absorption, la source employée était une bobine d'induction, munie d'un interrupteur rapide, qui produisait 12000 inversions par seconde. En outre, pour qu'il ne pût y avoir aucune prépondérance de l'une ou l'autre électricité, un *inverseur secondaire*, placé entre la bobine et la balance d'induction, changeait le sens de l'électrisation environ 30 fois par seconde.

La balance d'induction était renfermée dans une cage de verre. Les plaques diélectriques, qui avaient 17,5 cm. de côté, et 0,6 à 2,5 cm. d'épaisseur, étaient portées par un chariot qu'on faisait mouvoir du dehors. Des tiges à tête filetée permettaient en outre de placer le diélectrique bien verticalement, de le rapprocher ou de l'éloigner un peu du plateau A, et enfin de le faire tourner légèrement autour d'un axe vertical. Les liquides étaient contenus dans une auge de verre.

M. Gordon a constaté que la capacité inductive du verre augmente considérablement avec le temps. Cette augmentation allait, dans quelques cas, jusqu'à 20 %.

M. Palaz a déterminé en 1886<sup>1</sup> les capacités inductives spécifiques d'un certain nombre de liquides. Les capacités d'un même condensateur,

<sup>1</sup> Bull. de la Société vaudoise des Sc. naturelles, t. XXII, n° 94 (Lausanne, 1886); Journ. de Phys., 2<sup>e</sup> série, t. V, p. 370.

dont les armatures étaient séparées successivement par l'air ou par un liquide, étaient comparées avec celles d'un condensateur étalon à lame d'air au moyen de la méthode de M. de Sauty <sup>1</sup>, analogue à celle du pont de Wheatstone. Si l'on remplace dans le parallélogramme la résistance à mesurer et celle qui sert d'étalon par les deux condensateurs, le galvanomètre est au zéro lorsque

$$R_1 C_1 = R_2 C_2$$

$C_1, C_2$  étant les capacités des condensateurs,  $R_1, R_2$  les résistances des branches adjacentes du pont.

M. Palaz a remplacé d'ailleurs la pile par une bobine d'induction et le galvanomètre par un téléphone.

Les deux condensateurs étaient cylindriques et d'égales dimensions ; l'épaisseur de la couche isolante était de 0,1 cm., sa hauteur de 44 cm., et son diamètre de 10 cm. environ. Avec une lame d'air, le condensateur donnait

$$R_1 C_1 = R_2 C_2$$

et avec une lame isolante

$$R'_1 C'_1 = R'_2 C_2$$

D où

$$k = \frac{R_1}{R'_1} \frac{R'_2}{R_2}$$

Afin de vérifier la loi de Maxwell, M. Palaz a mesuré ensuite les indices de réfraction des liquides étudiés pour les principales raies du spectre, et il a cherché si l'égalité de  $n$  et de  $\sqrt{k}$  a lieu pour la même longueur d'onde dans toutes les substances. Cette méthode a été préférée à l'emploi de l'indice de réfraction pour une longueur d'onde infinie, parce que cette valeur dépend du nombre de termes qu'on donne à la formule et n'a pas de signification physique déterminée. Même en tenant compte de l'influence de la température, la relation ne s'est trouvée vérifiée que d'une manière approchée.

L'auteur a cherché en outre si l'action d'un champ magnétique intense modifie la valeur de la constante diélectrique. Le condensateur étalon

<sup>1</sup> L. Clark and R. Sabine, *Electrical Tables and Formulæ*, p. 62, 1871.

était un condensateur à disques de Kohlrausch à lame d'air. Le condensateur étudié était formé de deux plateaux de cuivre, séparés par un diélectrique et serrés mécaniquement l'un contre l'autre, pour éviter les variations de capacité. Ce condensateur était placé sur un support isolant entre les pôles d'un fort électro-aimant de Ruhmkorff, excité par une machine Gramme. En opérant avec des disques de paraffine, d'ébonite, de colophane et de soufre, on n'a pu observer aucune variation dans la capacité.

M. Negreano <sup>1</sup> a mesuré en 1887 la constante diélectrique et l'indice de réfraction d'une série d'hydrocarbures homologues, dans le but de vérifier la loi de Maxwell et de comparer les valeurs obtenues avec la densité et le poids moléculaire. Pour éviter toute cause d'erreur, il s'est attaché à employer des liquides bien purs, et ces liquides ont toujours été séparés des armatures du condensateur par des couches d'air.

La méthode employée était du reste celle de M. Gordon ; mais les cinq plateaux métalliques étaient placés horizontalement, pour permettre d'introduire plus facilement la cuvette renfermant le liquide. Dans l'épaisseur de chacun des plateaux B, C, D, E se visaient trois tiges plates d'ébonite, qui allaient en s'élargissant et portaient à leur extrémité une vis d'ivoire verticale ; ces trois vis s'appuyaient sur le sommet de trois colonnes d'ébonite. On pouvait ainsi rendre les disques de cuivre parfaitement horizontaux et faire varier leur distance de 0,5 à 3 cm. Le plateau supérieur A était porté par une vis micrométrique ; cette vis traversait le couvercle en ébonite d'une cage qui recouvrait les plateaux et dont les faces latérales étaient formées de quatre glaces planes. Les disques A, C, E, avaient environ 16 cm. de diamètre, les deux autres 12 cm. Cinq bornes métalliques, fixées sur une des glaces latérales, à des distances suffisantes, servaient à établir les communications.

Les liquides étaient placés dans une cuvette plate de 18 cm. de diamètre, en verre ou en cuivre nickelé, qu'on posait au-dessus du plateau B, sur les trois pièces horizontales en ébonite servant à le soutenir. L'épaisseur du liquide était mesurée à l'aide d'une vis micrométrique verticale, qui traversait le couvercle de la cage, et se terminait par une pointe d'ivoire qu'on faisait affleurer successivement à la surface du li-

1. *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. VI, p. 537.

guide et de la cuvette. Une ligne de repère, tracée sur la pointe d'ivoire, permettait de faire aussi les mesures au cathétomètre.

A cet appareil était joint un électromètre à quadrants, et les communications étaient établies comme dans les expériences de M. Gordon. La source d'électricité était une petite bobine d'induction, actionnée par 2 à 4 éléments Bunsen.

Pour faire une expérience, on amenait d'abord l'électromètre au zéro, puis on introduisait la cuve vide, et l'on éloignait le plateau A jusqu'à ce que l'aiguille revînt au zéro. Enfin, on introduisait dans la cuvette le liquide diélectrique, dont on mesurait l'épaisseur, et l'on ramenait de nouveau l'aiguille, en élevant encore le plateau supérieur. Les deux déplacements  $d$  et  $d'$  du plateau A et les épaisseurs  $e$  et  $e'$  de la cuvette et du liquide permettaient de calculer les pouvoirs inducteurs de ces deux substances, par la formule donnée plus haut. On trouvait ainsi pour la cuvette de laiton un pouvoir infini.

Un certain nombre de mesures ont été faites en remplaçant l'électromètre par un ou deux téléphones, reliés aux plateaux B et D.

Les indices de réfraction ont été mesurés pour la raie du chlorure de sodium et pour celle du chlorure de lithium. Les densités ont été prises par la méthode du flacon.

M. Negreano a opéré sur les hydrocarbures de la série benzénique, l'essence de térébenthine, l'éther et un certain nombre des huiles ordinaires.

La différence entre  $\sqrt{k}$  et l'indice par rapport à la raie D affectant le chiffre des centièmes, il a trouvé superflu de calculer l'indice pour la longueur d'onde infinie.

M. Negreano a constaté que la constante diélectrique diminue à mesure que la température s'élève; elle doit donc passer par un minimum, puisque, vers son point d'ébullition, le liquide devient plus conducteur.

Enfin, pour la série des carbures benzéniques, on a trouvé que la constante diélectrique augmente quand la molécule se complique. En appelant

$d$  la densité, le rapport  $\frac{k-1}{(k+2)d}$  s'est montré à peu près constant pour la

série benzénique. Au contraire, les rapports  $\frac{k-1}{d}$  et  $\frac{\sqrt{k}-1}{d}$  vont en croissant quand on avance dans la série.

M. Tomaszewski <sup>1</sup> a mesuré aussi la constante diélectrique d'une série de composés homologues, et d'un certain nombre d'essences hydrocarbonées isomères. La méthode employée était celle de Silow, indiquée plus haut, qui consiste à mesurer les déviations d'un électromètre à quadrants rempli successivement d'air et du liquide diélectrique. Il a trouvé que la capacité inductive n'est pas la même pour différents isomères, qu'elle augmente avec le poids moléculaire pour une série de composés homologues, enfin que la loi de Maxwell n'est pas vérifiée même grossièrement.

MM. Cohn et Arons <sup>2</sup> ont étudié un certain nombre de mélanges liquides ayant des conductibilités croissantes, afin de s'assurer si la constante diélectrique augmente aussi vite et si elle devient réellement infinie pour un corps conducteur. Ils ont choisi les liquides pour se mettre à l'abri des résidus manifestés par les isolants solides.

Ils ont fait usage d'un condensateur AB, formé d'une cuvette cylindrique en laiton doré, destinée à recevoir le liquide, et d'un plateau de même métal, reposant sur le fond de la cuvette par trois petites plaques de verre de 0,1412 cm. d'épaisseur ; ce plateau portait en son centre une tige métallique passant à travers un trou du couvercle de la cuvette. L'une des armatures A communiquait avec l'un des pôles d'une pile constante. Un pendule interrupteur de Helmholtz permettait de séparer le condensateur de la pile à un moment quelconque, et de faire varier la charge à volonté. L'armature B était reliée avec l'une des paires de quadrants d'un électromètre dont l'autre paire était à la terre.

En appelant C et  $\gamma$  les capacités du condensateur et de l'électromètre, W la résistance comprise dans le circuit du condensateur,  $\omega$  le potentiel de l'armature B au temps  $t$  et E la force électromotrice de la pile, on a

$$(C + \gamma) W = \frac{t}{\log \frac{E}{E - \omega}}$$

On donnait à C et à W différentes valeurs, en employant le condensateur à liquide seul ou associé en surface avec un condensateur à lame d'air, et en plaçant en dérivation une résistance auxiliaire.

1. *Wiedemann's Ann.*, t. XXXIII, 1888, p. 33-42 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 492.

2. *Wiedemann's Ann.*, t. XXVIII, p. 454-477 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. VI, p. 546.

Les équations ainsi obtenues ont bien donné les mêmes valeurs pour la capacité du condensateur à liquide et la résistance de la lame liquide, quelles que soient la combinaison employée et la durée de charge. En particulier, la valeur trouvée pour la résistance du liquide était identique à celle que donnent les procédés ordinaires de mesure de la résistance par des courants constants.

Les auteurs ont constaté que, tandis que, par des additions successives d'aniline, la conductibilité du xylol pur s'est trouvée multipliée par 10000, la capacité inductive n'a augmenté que d'un tiers de sa valeur. Elle n'a donc aucune relation avec la conductibilité, et ils ont cru pouvoir en conclure que la capacité inductive ne devient jamais infinie.

MM. Cohn et Arons ont ensuite étendu leurs recherches à des liquides plus conducteurs<sup>1</sup>. La méthode précédente n'étant plus applicable dès que le liquide cesse d'être presque isolant, ils ont employé la méthode de Silow. L'électromètre était à secteurs cylindriques ; l'aiguille était suspendue par un fil métallique et communiquait par ce fil avec l'un des pôles d'une bobine d'induction, qui était également relié avec l'une des paires de secteurs ; l'autre paire était en communication avec l'autre pôle de la bobine ; si  $V$  est la différence de potentiel de ces deux pôles, la déviation est proportionnelle à  $V^2$ . Les deux pôles étaient reliés de même à un électromètre Mascart.

Si  $F$  et  $M$  sont les déviations des deux appareils dans l'air,  $F'$  et  $M'$  les déviations lorsque le premier est plongé dans un liquide isolant, la constante diélectrique de ce liquide est

$$k = \frac{F'}{M'} : \frac{F}{M}$$

Les expériences ont porté sur l'eau distillée et des liquides alcooliques, purs ou contenant quelques traces de sels dissous. La plus grande valeur de la conductibilité était  $16.10^{-10}$ . L'eau distillée a donné  $k = 76$  ; le résultat n'a pas changé en faisant varier la conductibilité de 1 à 5 par des traces d'impuretés. L'alcool à 98° a donné 26,5 et l'alcool amylique 15.

La même méthode a été appliquée depuis par M. Tereschin<sup>2</sup> à un cer-

<sup>1</sup> *Wied. Ann.*, t. XXXIII, p. 13 et 31 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. VII, p. 379.

<sup>2</sup> *Wied. Ann.*, t. XXXVI, p. 792 ; *Journ. de Phys.*, 1890, p. 584.

tain nombre de liquides organiques, alcools, acétates, formiates, benzoates, aniline, xylol, etc. L'eau a donné en moyenne 83,8.

M. Quincke a fait un certain nombre de recherches sur la constante diélectrique des liquides. Il a d'abord <sup>1</sup> mesuré cette constante de trois manières différentes, afin d'avoir :

1° La constante pour une déformation parallèle aux lignes de force, en employant une sorte de balance d'induction renfermée dans une cage de verre pleine d'air ou de liquide, les plateaux étant réunis à un électromètre de Thomson et chargés par une machine de Holtz ou une bobine de Ruhmkorff; on mesurait l'attraction des plateaux dans l'air et dans le diélectrique.

2° La constante ordinaire, en mesurant la capacité du condensateur plongé dans l'air ou dans le liquide.

3° La constante correspondant à une pression normale aux lignes de force. Cette dernière était mesurée à l'aide d'une bulle d'air plongée dans le liquide, et dont on mesurait l'accroissement de pression par un tube manométrique rempli d'un mélange de sulfure de carbone et d'éther. La variation de force élastique est proportionnelle à la différence de potentiel des plateaux.

D'après Maxwell, ces trois constantes doivent être égales entre elles et égales au carré de l'indice de réfraction. Ces deux relations ne se sont pas trouvées vérifiées. La première et la troisième constante étaient à peu près égales, et toujours plus grandes que la seconde, sauf pour l'huile de colza.

L'auteur a du reste, depuis cette époque <sup>2</sup>, corrigé ces résultats, et montré que, si l'on tient compte de la capacité des pièces employées dans la seconde méthode pour décharger le condensateur à travers un galvanomètre, les résultats sont généralement à peu près égaux à ceux que donnent les deux autres procédés. Il y a cependant exception pour l'huile de colza qui donne, par les trois méthodes, des résultats assez écartés. L'éther, qui a la plus grande constante diélectrique, présente l'indice de réfraction le plus faible, et par conséquent ne vérifie pas du tout la loi de Maxwell.

1. *Ann. der Phys. und Chem.*, t. XIX, 1883, p. 545-588 et 705-782 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. III.

2. *Wied. Ann.* t. XXXII (1887), p. 530 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. VII, p. 581.

Dans son premier mémoire, l'auteur étudie également les mélanges de liquides, et donne la loi suivante : Si l'on mélange des volumes  $V_1$  et  $V_2$  de liquides ayant des capacités inductives  $K_1$  et  $K_2$ , le mélange a sensiblement pour capacité  $\frac{K_1 V_1 + K_2 V_2}{V_1 + V_2}$ .

M. Quincke a étudié aussi les modifications produites dans les propriétés des liquides isolants par les forces électriques. Les variations de l'indice de réfraction étaient mesurées à l'aide du condensateur indiqué plus haut et d'un réfractomètre analogue à celui de Jamin. Il a trouvé que :

1° Il y a tantôt augmentation et tantôt diminution de l'indice pour un même liquide ; ces alternatives peuvent provenir d'un changement de pression hydrostatique en rapport avec les variations de la pression électrique.

2° L'action prolongée des forces électriques produit une diminution de l'indice correspondant à une élévation de température qui peut aller jusqu'à 0°,1. Cette diminution augmente avec la différence de potentiel des électrodes et avec la viscosité du liquide ; elle provient sans doute d'un échauffement causé par un frottement des particules du liquide.

3° Le courant électrique semble passer par intermittences et non continuellement entre les plateaux métalliques.

4° L'intensité <sup>1</sup> d'un courant constant, qui traverse un liquide diélectrique, croît plus vite que la force électromotrice ; la loi d'Ohm ne s'applique donc pas. D'après quelques expériences, il semble se produire une décomposition électrolytique, lorsque la force exercée entre les électrodes dépasse une certaine limite, variable avec la nature du liquide.

5° La constante diélectrique pour de grandes ou de faibles forces électriques n'offre pas de différence notable, si on la mesure toujours par la même méthode ; mais, si on la mesure par l'attraction des plateaux, on peut trouver des valeurs de 10 à 50 % plus fortes que par la détermination de la capacité.

6° Pour une même différence de potentiel, la distance explosive est plus petite que dans l'air, et varie avec la nature du liquide. La différence de potentiel nécessaire pour produire l'étincelle augmente moins vite que la distance explosive. La pression correspondante, parallèle-

1. *Wied. Ann.*, t. XXVIII, p. 529-530, 1886 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. VI, p. 549.

ment aux lignes de force, diminue quand la distance explosive augmente.

M. Winkelmann a déterminé les pouvoirs inducteurs d'un certain nombre de substances au moyen d'une sorte de balance d'induction, dans laquelle l'électromètre est remplacé par un téléphone.

L'appareil<sup>1</sup> est un condensateur formé de deux plateaux de cuivre A et A', portés chacun par une colonne de bois mobile sur une règle horizontale graduée, et d'un troisième plateau B, maintenu par un support isolant fixe entre A et A', et réuni à l'un des pôles d'un appareil d'induction dont l'autre pôle communique avec le sol. Un téléphone étant relié aux deux plateaux AA', on trouve par tâtonnements une position des plateaux telle que le son soit minimum. Cette position est d'autant mieux déterminée que A et A' sont plus rapprochés de B. On intercale ensuite entre A et B le diélectrique et on déplace A' de manière à ramener le son au minimum. De ce déplacement on déduit facilement la capacité inductive. L'appareil d'induction fait environ 340 interruptions par seconde; avec un nombre plus grand, le son n'est plus net dans le téléphone.

On s'est d'abord assuré que les résultats obtenus pour l'ébonite, la paraffine, la gomme laque, diverses espèces de verres, sont suffisamment d'accord avec ceux indiqués par d'autres observateurs.

Pour les liquides, on opère de même, en se servant d'une cuve de verre de 7 mm. d'épaisseur. La première expérience est faite avec la cuve vide, la seconde avec la cuve pleine de liquide. Voici quelques-uns des résultats.

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Benzine .....              | 2,43 |
| Pétrole.....               | 2,14 |
| Essence de térébenthine .. | 2,22 |

M. Donle<sup>2</sup> s'est servi dans le même but d'un condensateur dont l'un des plateaux est relié avec une bobine d'induction et l'autre avec la terre; le courant de décharge de ce dernier traverse un électrodynamo-

1. *Wied. Ann.*, t. XXXVIII, p. 160, 1889; *Journ. de Phys.*, 1890, p. 253.

2. *Wied. Ann.*, t. XL, p. 307, 1890; *Journ. de Phys.*, 1890, p. 515.

mètre Bellati-Giltay <sup>1</sup>, beaucoup plus sensible que l'appareil ordinaire ; on intercale les diélectriques entre les plateaux et on mesure les déviations. La sensibilité de l'instrument nécessite des corrections minutieuses. On a trouvé :

|                |   |       |       |
|----------------|---|-------|-------|
| Verre à glaces | { | I.... | 6,883 |
|                |   | II... | 7,686 |
| Paraffine..... |   |       | 2,309 |
| Benzine.....   |   |       | 1,948 |

M. J. Curie <sup>2</sup> a fait connaître une nouvelle méthode pour la mesure des pouvoirs inducteurs et de la conductibilité des diélectriques. Cette méthode repose sur l'emploi d'un quartz piézo-électrique, formé d'une lame parallélépipédique ayant deux faces perpendiculaires à l'axe optique, deux autres normales aux axes de symétrie binaire, et les dernières parallèles à la fois à l'axe optique et à l'un des axes de symétrie binaire. Si l'on produit une traction dans la direction qui est perpendiculaire à la fois à l'axe optique et à l'axe binaire (axe électrique), suivant lequel on exerce d'ordinaire la piézo-électricité, on dégage une quantité d'électricité proportionnelle à la traction et à la longueur de la direction soumise à l'expérience, inversement proportionnelle à l'épaisseur suivant l'axe électrique et indépendante de la dimension suivant l'axe optique. Pour utiliser cette propriété, on donne à la lame une longueur d'environ 10 cm. suivant la direction qui doit supporter la traction, une largeur de 2 cm. suivant l'axe optique et une épaisseur de 0,5 mm. suivant l'axe électrique. En faisant varier la charge depuis 0,5 gr. jusqu'à 5 kilogr., on peut obtenir des quantités d'électricité dont les rapports varient de 1 à 10000. Le quartz piézo-électrique est suspendu verticalement ; pour recueillir l'électricité, les deux faces verticales normales à l'axe électrique sont argentées ou munies de feuilles d'étain dont l'une est constamment à la terre, tandis que l'autre peut être mise en communication avec un électromètre. La partie inférieure supporte un plateau destiné à recevoir les poids tenseurs. L'appareil est enfermé dans une cage métallique bien desséchée.

1. *Wied. Ann.*, t. XXV, p. 325.

2. *Ann. de Chimie*, 1889, t. XVII, p. 385, et t. XVIII, p. 203.

Pour déterminer la constante diélectrique d'un corps isolant, on lui donne la forme d'une lame aussi large que possible et ayant au plus 2 ou 3 mm. d'épaisseur; on argente les deux faces et on trace sur l'une d'elles, à l'aide d'une pointe d'aiguille, un trait fin isolant une surface centrale, facile à mesurer, de la partie périphérique, qui forme anneau de garde.

Le condensateur ainsi constitué est suspendu dans une éprouvette bien desséchée. Pour faire une mesure, on porte brusquement l'une des faces du condensateur, celle qui n'a pas d'anneau de garde, à un certain potentiel au moyen d'une pile dont l'autre pôle reste toujours au sol. La partie centrale de l'autre face est réunie à la fois avec un électromètre et avec le quartz piézo-électrique. Au moment où l'on établit la différence de potentiel entre les deux faces, il se produit à travers la lame une influence électrique, fonction du pouvoir inducteur, et qui tend à faire dévier l'image de l'électromètre. En exerçant sur le quartz une traction convenable, on peut compenser cette influence et maintenir l'image au zéro. Un commutateur et un levier, solidaires l'un de l'autre, permettent de réaliser mécaniquement au même instant la pose des poids et la mise à la pile. Si l'on n'a pas affaire à un diélectrique presque parfait, il est préférable de charger la lame pendant un temps  $t$ , puis de la décharger et de mesurer la décharge.

Pour éviter l'emploi de la constante piézo-électrique du quartz, on fait une seconde expérience analogue, en remplaçant le condensateur à lame isolante par un autre à lame d'air, formé de deux plaques de verre parallèles, bien planes, argentées sur leurs faces intérieures, et séparées par deux petites cales en quartz parallèles à l'axe. L'une des faces argentées est encore munie d'un anneau de garde. Si l'on appelle  $e'$  l'épaisseur des cales de quartz,  $s'$  la surface de la partie centrale qu'entoure l'anneau de garde,  $P'$  le poids tenseur dans la seconde expérience,  $e$ ,  $s$ , et  $P$  les quantités correspondantes dans la première, la constante diélectrique est

$$k = \frac{P \frac{e}{s}}{P' \frac{e'}{s'}}$$

Pour la mesure des conductibilités, on se place dans des conditions analogues. La conductibilité à un moment déterminé est mesurée par la valeur des poids qu'il a fallu poser ou retirer pendant un certain laps de temps  $t$ . Il faut donc d'une part compter la variation de poids et d'autre part compter le temps.

Cette méthode a été appliquée à l'étude d'un certain nombre de diélectriques cristallins, quartz, spath, sel gemme, soufre, etc., et aussi à celle de l'ébonite et de la porcelaine. Elle a été employée également pour l'étude de la conductibilité dans les mêmes corps cristallisés et aussi dans le verre, le cristal, la blende, à diverses températures, surtout au point de vue des variations d'intensité de la conductibilité apparente avec le temps.

Les résultats montrent que l'eau joue un rôle capital dans la conductibilité d'un grand nombre de diélectriques. L'auteur cite en outre quelques lois générales, notamment celle-ci : Chaque variation de force électromotrice entre les deux faces de la lame agit comme si elle était seule.

Dans ces dernières années, plusieurs expérimentateurs ont déterminé la constante diélectrique du verre à l'aide d'oscillations très rapides, dans le but de faire disparaître l'écart considérable existant, d'après la plupart des auteurs, entre cette constante et le carré de l'indice de réfraction. Ainsi, d'après M. Hopkinson, on aurait pour certains verres  $k = 4 n^2$ . M. J.-J. Thomson <sup>1</sup> a employé, en 1889, les oscillations très rapides, telles que les donnent les appareils de M. Hertz. Il mesure d'abord la longueur d'onde  $\lambda$  des oscillations émises par un condensateur à lame d'air, puis la longueur  $\lambda'$  qu'on obtient en remplaçant la lame d'air par une lame de verre. En appelant  $T$  et  $T'$  les valeurs de la période dans les deux cas, on a :

$$(1) \quad \frac{\lambda}{\lambda'} = \frac{T}{T'}$$

Il existe d'ailleurs entre la période, la capacité  $C$  et le coefficient de self-induction  $L$  d'un condensateur la relation

1. *Proceedings of the Royal Society*, 20 juin 1889.

$$(2) \quad T = \pi \sqrt{CL}$$

et de même

$$T' = \pi \sqrt{C'L}$$

D'où

$$(3) \quad \frac{C'}{C} = \left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)^2$$

De ce rapport on déduit ensuite la constante, que M. J. Thomson a trouvée égale à 2,7 ou  $(1,65)^2$ . Il conclut que, pour des oscillations au nombre de 25 000 000 par seconde, « la capacité inductive du verre est très près d'être égale au carré de l'indice de réfraction et est beaucoup moindre que pour des renversements plus lents. »

M. Lecher <sup>1</sup> a employé une méthode moins directe, mais qui a l'avantage de ne pas faire intervenir la formule (2), dont l'exactitude n'est pas établie pour des oscillations très rapides. Il a obtenu ainsi des résultats absolument opposés à ceux de M. Thomson. « Non seulement la constante diélectrique, calculée simplement à l'aide de la capacité, ne devient pas plus petite pour des oscillations très rapides, mais même elle croît notablement... Je crois, contrairement à M. J. Thomson, que, même à l'aide des oscillations hertziennes, on ne s'approchera pas en général de la vraie constante diélectrique. »

Ces conclusions contradictoires ont engagé M. Blondlot à entreprendre de nouvelles recherches <sup>2</sup>. La méthode employée a l'avantage de n'exiger aucune formule et de s'appuyer uniquement sur la définition du pouvoir inducteur et sur le principe de symétrie. Deux plaques rectangulaires de laiton, verticales, sont fixées parallèlement à une distance de 5,5 cm. ; elles ont des surfaces inégales, et portent deux tiges terminées par des boules *ab*, situées en regard l'une de l'autre dans le plan vertical de symétrie de l'appareil, à la distance de 0,4 cm. environ. Le grand plateau AA' communique avec le sol et le plus petit BB' avec l'un des pôles d'une bobine de Ruhmkorff dont l'autre pôle est mis à la

1. *Sitzungsberichte d. Kais. Akademie d. Wissenschaften in Wien*, mai 1890 ; *Journ. de Phys.*, 1892, p. 85.

2. *Journ. de Phys.*, 1891, p. 197 et 512.

terre. Les étincelles jaillissent entre les boules  $ab$ , et le condensateur est le siège de charges et de décharges oscillatoires dont la période est de l'ordre du  $\frac{1}{25\,000\,000}$  de seconde.

L'appareil est évidemment symétrique par rapport au plan vertical XX, perpendiculaire au milieu des deux plateaux, et qui contient les boules  $ab$ . Deux plaques carrées, C et C', parallèles au grand plateau AA', sont alors fixées derrière lui, à la même distance de 3,5 cm. et symétriquement par rapport au plan XX. Aux deux milieux de leurs bords internes sont soudés deux fils, parallèles au plan XX, et qui aboutissent à deux pointes de charbon à lumière PP', maintenues en regard à une distance très petite, qu'on règle à l'aide d'une vis micrométrique. Le plateau AA' formant écran, il ne peut s'exercer derrière lui aucune force électrique permanente à variation lente ; mais il peut s'y produire des forces électromagnétiques à très courtes périodes dues aux décharges oscillatoires du condensateur.

A cause de la parfaite symétrie de l'appareil par rapport au plan XX, on peut faire fonctionner la bobine et obtenir de fortes étincelles oscillatoires entre les boules  $ab$ , sans qu'il se produise aucune lueur entre les pointes PP'. Mais, si l'on interpose une lame de verre entre AA' et l'une des petites plaques, C par exemple, on voit aussitôt des étincelles jaillir entre P et P'. M. Blondlot place alors, de l'autre côté du plan XX, entre AA' et C', une lame de soufre à épaisseur variable, et règle cette épaisseur de manière à faire disparaître les étincelles en PP'. La plaque de soufre est formée de deux prismes de même angle, accolés en sens contraire (comme dans le compensateur de Babinet).

La plaque de verre de 3 cm. d'épaisseur est compensée par une lame de soufre de 3,15 cm. La constante diélectrique du soufre, mesurée par la méthode de M. J. Curie, a été trouvée de 2,6 ; en appelant  $x$  celle du verre, on a

$$\frac{3}{x} - 3 = \frac{3,15}{2,6} - 3,15.$$

D'où

$$x = 2,8 = (1,67)^2,$$

nombre à peu près identique à celui de M. J. Thomson. M. Blondlot pense que les résultats contraires de M. Lecher s'expliquent peut-être par ce

fait qu'il faisait varier la distance des armatures du condensateur, tandis que M. Thomson et M. Blondlot les laissent immobiles.

M. Klemencic <sup>1</sup> a étudié les propriétés du mica à l'aide de divers condensateurs; il a trouvé pour la constante diélectrique 6,64. Pour le résidu, il indique seulement que la décharge, mesurée au bout de 0,007 seconde, s'accroît de 1,8 % quand la durée de charge varie de 0,002 à 1200 secondes.

M. Pérot <sup>2</sup> a modifié la méthode de Silow afin d'étudier les variations de début du pouvoir inducteur des liquides. Il s'est d'abord servi d'un électromètre-balance différentiel, qu'il a remplacé ensuite par un électromètre différentiel à quadrants, formé de deux électromètres de M. Branly placés l'un au-dessus de l'autre dans une même cage métallique. Les deux aiguilles d'aluminium sont solidaires et portent un miroir concave, pour la méthode de Poggendorff. Les secteurs de l'électromètre inférieur sont fixes; ceux de l'électromètre supérieur sont mobiles verticalement. Un cristallisoir plein du liquide étudié peut être soulevé de façon à immerger complètement l'appareil inférieur. La pile de charge a une force électromotrice d'environ 270 volts. Soient  $a$  et  $a'$  les paires de secteurs de l'électromètre supérieur,  $b$  et  $b'$  celles de l'électromètre inférieur.  $a'$  et  $b$  communiquent constamment avec le sol; on peut en outre soit relier  $a$  et  $b'$  ensemble et avec la pile, soit les isoler l'une de l'autre et mettre  $a$  à la pile,  $b'$  au sol. Ces paires de secteurs sont choisies de telle sorte que, toutes deux étant chargées, les couples soient opposés dans les deux électromètres.

Les deux instruments étant plongés dans l'air et l'image fournie par le miroir étant au zéro de l'échelle divisée, on réunit  $a$  et  $b'$  avec la pile et on règle la position des secteurs de l'électromètre supérieur de façon à ramener l'aiguille au zéro; soit  $p_1$  cette position. On immerge ensuite l'appareil inférieur en élevant le cristallisoir; on charge de nouveau et l'on déplace les secteurs de l'électromètre à air jusqu'à ce que l'image revienne au zéro; soit  $p_2$  leur position.

On met les secteurs  $b'$  de l'électromètre à liquide au sol, les secteurs  $a$

1. *Sitzungsb. d. Kais. Akad. der Wissensch. in Wien*, t. XCVI, 1887; *Journ. de Phys.*, 1891, p. 346.

2. *Journ. de Phys.*, 1891, p. 149.

restant à la pile, dont on supprime les trois quarts des éléments, et l'on détermine les déviations  $\alpha_1$  et  $\alpha_2$  pour les positions  $p_1$  et  $p_2$  des quadrants supérieurs. Ces déviations sont proportionnelles aux couples de torsion mis en jeu dans les expériences précédentes et l'on a

$$k = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

Pour étudier les variations de  $k$  avec le temps de charge, on règle la distance  $p_2$  de façon que l'aiguille soit au zéro après cinq minutes de charge. On décharge l'appareil, puis on le recharge ; on voit le miroir, entraîné d'abord par l'électromètre à air, à droite par exemple, revenir au zéro après une série d'oscillations. Si l'on abaisse peu à peu les secteurs de l'électromètre à air, la position d'équilibre, au bout de cinq minutes, se trouve reportée vers la gauche, mais la première impulsion se produit encore vers la droite. On continue d'abaisser les secteurs jusqu'à ce que cette impulsion ne se produise plus. On ne peut pas obtenir ainsi la valeur exacte de la constante  $k_0$  au début même de la charge, à cause de l'inertie de l'aiguille, mais on obtient une limite supérieure de cette quantité en prenant les deux positions des secteurs les plus voisines dont l'une produise encore un arc d'impulsion et dont l'autre n'en produise plus.

Pour la benzine, l'essence de pétrole et le chloroforme parfaitement purs, M. Pérot a trouvé que :

1° Le pouvoir inducteur au bout d'un temps de charge supérieur à une seconde ne dépend ni de la durée de la charge, ni du potentiel de charge, ni de l'histoire antérieure du liquide ; il satisfait à la loi de Maxwell.

2° Le pouvoir inducteur au début de la charge serait voisin de l'unité.

3° La variation au début se fait très rapidement.

Pour les liquides impurs, les phénomènes sont beaucoup plus complexes. Quelques expériences ont été faites aussi par une méthode analogue à celle du galvanomètre balistique de Jenkin.

M. Stschehtiaeff <sup>1</sup> a substitué un bolomètre au tube de Geissler dans les expériences de Hertz pour mesurer des courants plus faibles, qui ne

<sup>1</sup> *Journ. de la Soc. physico-chimiq. russe*, t. XXII, 1890, p. 115, et t. XXIII, 1891, p. 170 ; *Journ. de Phys.*, 1891, p. 428, et 1892, p. 259.

produisent plus de lumière dans le tube. La même méthode a été appliquée avec succès à la détermination de la constante diélectrique à l'aide de la méthode du condensateur. Les résultats confirment la loi de Maxwell.

M. Rosa <sup>1</sup> a cherché si les liquides électrolytes, comme l'eau et l'alcool, renfermant des traces d'impuretés, ont un pouvoir inducteur vrai ou seulement un pouvoir apparent, résultant de leur conductibilité électrique. Pour cela, il mesure, à l'aide d'une balance de torsion, la force attractive qui s'exerce entre deux électrodes de platine plongées dans un liquide et chargées par un courant qui change de sens 2000 à 4000 fois par minute. La discussion des résultats montre que ces liquides possèdent réellement un pouvoir conducteur.

M. Elsas <sup>2</sup> a employé une méthode analogue à celle de M. Winkelmann, décrite plus haut, mais avec deux condensateurs séparés au lieu d'un condensateur à trois plateaux. L'appareil est formé d'un inducteur différentiel réuni avec un condensateur fixe et avec un condensateur de Kohlrausch à plateaux mobiles, reliés entre eux par un téléphone, qui devient silencieux quand les capacités sont égales. On intercale entre les plateaux la plaque à essayer et l'on établit l'équilibre, puis on supprime la plaque, on rétablit de nouveau l'équilibre et l'on déduit du déplacement du plateau mobile la constante diélectrique. La méthode s'applique aux liquides, en les plaçant dans un vase métallique.

Enfin, M. Bouty a publié récemment une étude très complète sur les propriétés diélectriques du mica et sur la coexistence du pouvoir inducteur et de la conductibilité électrolytique. Il établit d'abord, par un certain nombre d'expériences <sup>3</sup>, que, au moins pour des différences de potentiel ne dépassant pas 20 volts, une lame mince de mica oppose un obstacle absolu au passage continu de l'électricité à travers son épaisseur. Il étudie ensuite <sup>4</sup> la charge et la décharge d'un condensateur à lame de mica à une époque quelconque, au moyen d'un électromètre capillaire de M. Lippmann, en se servant d'un condensateur auxiliaire d'un microfarad. Au-dessus de 5 et parfois même de 2 secondes, les interruptions et commutations nécessaires sont effectuées à la main; les durées de charge

1. *Phil. Mag.*, t. XXXI, 6<sup>e</sup> série, p. 188, 1891; *Journ. de Phys.*, 1892, p. 89.

2. *Wied. Ann.*, t. XLIV, p. 654, 1891; *Journ. de Phys.*, 1892, p. 251.

3. *Journ. de Phys.*, 1890, p. 292.

4. *Ann. de Chimie*, 6<sup>e</sup> série, t. XXIV, 1891, p. 394; *Journ. de Phys.*, 1892, p. 5.

plus petites sont obtenues automatiquement au moyen d'un pendule de torsion et de contacts à mercure. Ces expériences ont donné les lois suivantes :

1° La charge absorbée entre  $\theta$  et  $\theta + t$  par un condensateur qui ne fuit pas et qui s'est longuement reposé est identique au résidu rendu libre entre  $\theta$  et  $\theta + t$  sur le même condensateur, précédemment chargé pendant un temps indéfini et par la même pile.

2° La charge absorbée ou résiduelle est rigoureusement proportionnelle à la force électromotrice de la pile de charge.

3° Les charges résiduelles au sein d'un même condensateur ne sont pas proportionnelles aux capacités.

Il résulte de ce défaut de proportionnalité que les subdivisions d'un condensateur commercial en mica ne peuvent, en général, être considérées comme proportionnelles à leurs valeurs nominales que pour une seule durée de charge ou de décharge.

4° Le résidu d'un condensateur qui ne fuit pas est égal à la somme des résidus de ses subdivisions.

La vérification de cette loi établit que, dans les condensateurs commerciaux, la réaction des charges d'une subdivision sur les charges d'une autre subdivision est toujours négligeable.

Les résidus entre  $\theta$  et  $\theta + t$  d'un microfarad Carpentier employé dans ces expériences et de ses subdivisions ont pu être représentés, à partir de  $\frac{1}{1000}$  de seconde, par la formule empirique :

$$R_{\theta}^{\theta+t} = A \left[ (\theta + t)^c - \theta^c \right]$$

L'exposant  $c = 0,09$  ; A varie d'une subdivision à une autre.

Les formules relatives au résidu ne sont applicables aux courtes durées qu'à la condition expresse d'employer une pile impolarisable de résistance très faible et d'opérer toujours en court circuit. Si l'on introduit dans le circuit une résistance métallique un peu considérable, on obtient pour les résidus des nombres trop forts, et cela pour des valeurs de la résistance d'autant plus petites que  $\theta$  est lui-même plus court.

M. Bouty a déterminé ensuite la constante diélectrique du mica, sur des échantillons employés par M. Carpentier pour la construction de ses éta-

lons, en se servant des mêmes méthodes. La lame étudiée, argentée sur ses deux faces, est disposée en cascade avec le condensateur étalon, de capacité 1, dans le circuit d'une pile constante, de force électromotrice  $E$ , et l'on ferme le circuit pendant un temps  $t$ . Soit  $C$  la capacité du condensateur formé par la lame étudiée,  $X$  la différence de potentiel de ses armatures,  $y$  celle des armatures du microfarad ; on a

$$\begin{aligned} X + y &= E \\ CX &= y \end{aligned}$$

D'où

$$C = \frac{y}{E - y}$$

$C$  étant très petit par rapport à l'unité,  $y$  est très petit par rapport à  $E$  ; au degré d'approximation des expériences, on peut en général prendre

$$C = \frac{y}{E}$$

Pour mesurer  $C$ , il suffit donc de décharger le microfarad sur l'électromètre. On lit le déplacement  $n$  du mercure et, par le coefficient de proportionnalité, on en conclut la valeur de  $y$  et par suite de  $C$ .

La moyenne des expériences a donné pour la constante du mica, dans la direction perpendiculaire aux plans de clivage, la valeur 7,98.

On sait que, dans les étalons commerciaux, les lames de mica sont armées de feuilles d'étain qu'on fait adhérer sur leurs deux faces par une couche mince de vernis à la gomme laque. M. Bouty a signalé l'inconvénient de cette méthode, qui introduit de part et d'autre du mica une couche d'air dont l'influence n'est pas négligeable, à cause de la valeur élevée du pouvoir inducteur du mica. En employant des lames de mica argenté, on peut diminuer beaucoup le poids, le volume et le prix de revient de ces étalons.

M. Bouty étudie également l'influence de la température sur la constante diélectrique et le résidu jusqu'à 400°. Jusqu'à 200° environ, on constate l'égalité à peu près parfaite des courants de charge et de décharge. Au delà, cette égalité ne subsiste pas, c'est-à-dire que le condensateur fuit et que la lame est devenue conductrice, soit par sa surface, soit à travers son épaisseur, soit des deux manières. Il est difficile

de se prononcer sur la conductibilité à travers la masse, mais il est certain que la conductibilité superficielle est largement prépondérante.

De 15° à 300°, la constante diélectrique du mica ne varie pas de  $\frac{1}{50}$  de sa valeur. On voit du reste que la valeur de cette constante est beaucoup trop grande pour satisfaire à la loi de Maxwell.

On sait enfin que beaucoup de corps, isolants à froid, deviennent des électrolytes à une température suffisamment élevée. M. Bouty <sup>1</sup> a cherché, au moyen des mêmes méthodes, comment s'opère cette transition et s'il y a, à partir d'une certaine température, coexistence du pouvoir diélectrique et de la conductibilité électrolytique.

Pour les liquides, la constante diélectrique change peu avec l'échantillon, tandis que la résistance spécifique peut varier dans des limites assez larges. Quand on élève la température, la constante demeure sensiblement invariable et la résistance spécifique diminue rapidement. Les expériences ont aussi porté sur la glace et sur les sels solides. M. Bouty a été conduit à admettre comme vraisemblable que, si les expériences pouvaient être étendues aux électrolytes ordinaires, elles fourniraient des résultats analogues et donneraient des valeurs finies de  $k$ . La distinction entre les diélectriques et les électrolytes résiderait donc uniquement dans l'ordre de grandeur de leur conductibilité. « Si l'on veut se former une image de la manière dont l'électricité agit dans ces expériences, on peut recourir à l'hypothèse de Grotthuss. Quand deux plaques métalliques, plongées au sein de la masse polarisable et électrolytique, sont portées à une certaine différence de potentiel, les molécules de la masse reçoivent une orientation déterminée, ce qui n'exige qu'un temps très court et constitue la polarisation diélectrique ; cette polarisation a pour effet l'écoulement sur les électrodes de la charge diélectrique CE. Ensuite, les chaînes électrolytiques se rompent, si toutefois elles en sont susceptibles, et le transport aux électrodes des ions libres est accompagné de l'écoulement, à travers l'auge, d'une quantité d'électricité  $\frac{E}{r} t$ . »

*Mesure de la constante diélectrique des gaz et des vapeurs.* — En 1874, M. Boltzmann <sup>2</sup>, dont nous avons résumé déjà les recherches relatives

1. *Ann. de chimie*, 6<sup>e</sup> série, t. XXVII, p. 62, 1892 ; *Journ. de Phys.*, 1892, p. 445.

2. *Wien. Sitz.*, vol. LXIX, part. II, p. 795 ; *Pogg. Ann.*, t. CLV, p. 403 ; *Journ. de Phys.*, t. IV, p. 221, et t. V., p. 23.

aux solides, réussit à découvrir et à mesurer des différences dans la capacité inductive des divers gaz. Il se servait d'un électromètre, et d'un condensateur placé dans une cloche où l'on pouvait introduire les gaz et faire varier la pression.

Le condensateur était formé de deux plateaux horizontaux parallèles A et B, protégés, par d'autres plateaux disposés au-dessus et au-dessous d'eux, contre toute chaleur développée par le frottement à l'entrée des gaz. Les plateaux A et B étaient fixés par de petits blocs de gomme laque aux plateaux protecteurs, qui étaient reliés à la terre. Une boîte en laiton mince entourait cet appareil et le protégeait contre toute action électrique extérieure. Une cloche de verre formait la dernière enveloppe: elle était munie à la partie inférieure d'un tuyau communiquant avec un manomètre et permettant de faire le vide ou d'introduire les gaz. Deux fils, traversant des tampons de gomme laque fixés au dôme de la cloche, servaient à charger le condensateur.

Au commencement d'une expérience, le plateau inférieur A est relié à la terre et à l'électromètre, le plateau B au pôle positif d'une pile de 300 éléments Daniell. L'électromètre n'est pas dévié. On supprime la communication avec la terre, et l'on ajoute 1 Daniell aux 300 éléments; on a une déviation positive  $+\beta$ ; en enlevant cet élément, l'aiguille revient au zéro. Si l'on modifie alors la nature ou la pression du gaz qui sépare les deux armatures, on obtient une nouvelle déviation  $\alpha$ , positive ou négative, suivant que le pouvoir inducteur du milieu a augmenté ou diminué.

Soit  $p$  le potentiel dû à un seul élément Daniell,  $k_1$  et  $k_2$  la capacité inductive du milieu au commencement et à la fin: le potentiel varie, du commencement à la fin, dans le rapport  $\frac{k_1}{k_2}$ . Pour le plateau B, il était d'abord  $300 p$ ; il devient  $300 p \cdot \frac{k_1}{k_2}$ . Il a donc varié de

$$300 p \left( \frac{k_1}{k_2} - 1 \right),$$

variation qui cause une déviation  $\alpha$ .

Les déviations étant proportionnelles aux variations de potentiel, on a

$$\frac{k_1}{k_2} = 1 + \frac{\alpha}{300 \beta}.$$

M. Boltzmann s'est assuré d'abord que les plateaux ne sont pas électrisés par le frottement de l'air; il a constaté aussi que, pour des pressions comprises entre 760 et 3 mm., l'isolement des plateaux peut être considéré comme parfait. Au-dessous de cette pression, l'électricité passe par décharge disruptive.

Il a constaté ensuite que la capacité inductive d'un même gaz croît proportionnellement aux pressions  $H$  et peut être représentée par

$$k = k_0 \left( 1 + \frac{\lambda H}{760} \right);$$

$k_0$  est la valeur qui correspond au vide parfait: c'est l'unité par définition.

Enfin M. Boltzmann a comparé ses résultats pour les différents gaz à 0° et sous la pression 760 avec les indices de réfraction; la loi de Maxwell paraît vérifiée.

En 1877, MM. Ayrton et Perry<sup>1</sup>, sans avoir connaissance des recherches précédentes, mesurèrent aussi la constante diélectrique des gaz.

Ils se servaient d'un condensateur fermé, qu'on remplissait successivement d'air à la température et à la pression ordinaires, puis d'un autre gaz, et ils déterminaient dans chaque cas le rapport de sa capacité à celle d'un condensateur ouvert à lame d'air. Le rapport des capacités du condensateur fermé dans les deux cas faisait connaître la constante diélectrique du gaz.

Le condensateur ouvert était formé d'un plateau posé sur un pilier de pierre, et d'un autre, soutenu à une petite distance au-dessus du premier par trois vis calantes en ébonite. Le condensateur fermé consistait en une boîte renfermant 11 plaques parallèles: les plaques impaires étaient reliées à la boîte, les autres à un fil sortant à travers un long tube de verre qui soutenait l'appareil; un tube latéral communiquait avec une pompe à mercure.

La comparaison des deux appareils se faisait de la manière suivante. L'une des armatures de chaque condensateur était à la terre. A l'aide d'une clef à inversion, on faisait communiquer d'abord l'autre armature du condensateur fermé avec le pôle positif d'une pile de 87 éléments

1. *Mém. lu à la Soc. Asiat. du Japon, Yokohama, 18 avril 1877.*

Daniell dont l'autre pôle était réuni au sol, puis on reliait le pôle positif au sol et le pôle négatif au condensateur ouvert. Ces deux appareils étaient ainsi chargés à des potentiels égaux et contraires. Ils étaient ensuite détachés de la pile et mis simultanément en communication avec l'une des paires de quadrants d'un électromètre, dont l'autre était à la terre. Si les deux condensateurs ont des capacités inégales, on observe une déviation  $\alpha$  dont le signe et la grandeur dépendent de la différence des capacités.

La pile étant trop forte pour qu'on pût relier directement ses deux pôles à l'électromètre, on les réunissait par une résistance de 10000 unités, et l'on faisait communiquer avec l'électromètre un des pôles de la pile et un point du circuit situé par exemple à  $\frac{1}{100}$  de sa longueur à partir de ce pôle. Si l'on observe alors une déviation  $\beta$ , on aurait, en prenant les deux pôles, une déviation  $100\beta$ . Soit  $C$  la capacité du condensateur fermé,  $C'$  celle du condensateur ouvert, on a

$$100\beta \cdot C - 100\beta \cdot C' = \alpha (C + C');$$

d'où

$$\frac{C}{C'} = \frac{100\beta + \alpha}{100\beta - \alpha}$$

On refait une autre expérience en remplissant le condensateur fermé d'un autre gaz, et l'on a une nouvelle valeur  $\frac{C_1}{C'}$ . Le rapport des pouvoirs inducteurs est égal au rapport de ces deux expressions.

En 1881, un Comité composé de MM. Ayrton, Lodge, Gordon et Perry, mesura <sup>1</sup> les variations de la capacité inductive de l'air avec sa pression. Un condensateur à lame d'air A était comparé avec un condensateur à glissement B, qu'on amenait à avoir même capacité.

Le condensateur A était formé de cinq cylindres concentriques en aluminium, distants d'environ  $\frac{1}{3}$  de centim. et longs de 39,3 centim. Les trois cylindres impairs communiquaient ensemble et formaient l'une des armatures, les deux cylindres pairs formaient l'autre. L'appareil était enfermé dans un tube de verre de 58,5 cm. de longueur et de 5,5 cm. de

<sup>1</sup> *Preliminary Report of the Committee, etc.*, Londres, 1881 ; *Journ. de Phys.*, t. X, p. 216.

diamètre, relié à une trompe de Sprengel qui donnait un vide de 0,001 mm. de mercure.

Les deux condensateurs étaient placés dans les deux branches consécutives d'un pont de Wheatstone, dont les autres branches avaient des résistances égales. Le galvanomètre était remplacé par un téléphone. Le courant, produit par deux ou trois éléments Grove, était interrompu périodiquement.

Le Comité a constaté que la capacité du condensateur A diminuait de 0,006 à 0,008 de sa valeur en passant de la pression atmosphérique à 0,001 mm., tandis qu'elle diminuait seulement de 0,001 quand on ne descendait qu'à 5 mm.

M. Klemencic<sup>1</sup> a mesuré en 1885 la constante diélectrique d'un certain nombre de gaz et de vapeurs. Un condensateur, formé de trente plateaux de laiton superposés et séparés par de petits morceaux d'ébonite, était placé sous une cloche qu'on remplissait de gaz à une pression connue. On se servait d'un diapason de 64 vibrations pour charger le condensateur à l'aide du courant d'une pile et pour faire passer la décharge dans un galvanomètre.

Pour une certaine capacité du condensateur, on ramenait l'aiguille du galvanomètre au zéro en y faisant passer en sens inverse le courant d'une pile. Si on changeait ensuite la nature ou la densité du gaz contenu dans la cloche, la compensation n'avait plus lieu, et l'on mesurait la déviation.

Un certain nombre de résultats vérifient d'une façon suffisante la loi de Maxwell ; pour d'autres corps, tels que l'acide sulfureux, l'éther, le chloro-éthyle et le brométhyle, la constante diélectrique trouvée n'est pas comparable à l'indice de réfraction.

Enfin, M. Lebedew<sup>2</sup> a mesuré les constantes diélectriques des vapeurs de divers liquides, benzine, tolnène, éther, alcools méthylique et éthylique, etc. Il compare, par la méthode d'Hopkinson, les capacités de deux condensateurs, dont l'un a toujours pour diélectrique l'air et l'autre successivement l'air ou la vapeur de ces liquides. Pour éviter toute condensation, le second appareil, maintenu par une enveloppe de vapeur à une

1. *Bull. de l'Acad. de Vienne*, 1885, p. 72 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. V, p. 238.

2. *Wied. Ann.*, t. XLIV, p. 288, 1891 ; *Journ. de Phys.*, 1892, p. 81.

température déterminée, est parcouru par un lent courant de vapeur sèche du liquide en expérience.

La constante diélectrique  $k$  de l'air étant, d'après Boltzmann et Klemencic, 1,00059 à 0° et 76 cm., on trouve, en considérant la valeur de l'expression  $k-1$  comme proportionnelle à la densité du gaz, la valeur de  $k$  pour les différentes températures.

*Expériences relatives aux autres propriétés des diélectriques.* — Les travaux que nous avons cités jusqu'ici se rapportent tous plus ou moins directement à la mesure de la capacité inductive spécifique. Un certain nombre d'autres mémoires sont relatifs aux autres propriétés des diélectriques ou à la théorie de ces corps ; nous allons les résumer en essayant de grouper ensemble ceux qui présentent une certaine analogie.

M. Righi<sup>1</sup> a fait de 1873 à 1882 un grand nombre d'expériences, dont les dernières avec M. Villari, sur la charge des diélectriques fixes et en mouvement, avec applications à la théorie des condensateurs, des électrophores et des machines à induction. Ces expériences sont trop nombreuses et trop peu liées pour qu'il soit possible de les résumer. L'auteur a cherché à montrer que les phénomènes des condensateurs s'expliquent parfaitement en admettant la polarisation de la lame isolante<sup>2</sup>.

M. Villari a étudié<sup>3</sup> aussi les effets de la lame isolante dans les condensateurs et les résidus.

M. Dieterici a observé<sup>4</sup> la formation des résidus dans la paraffine, dans le but de vérifier la théorie des diélectriques de Clausius. Il plaçait une lame mince de paraffine sur un plateau horizontal en communication permanente avec le sol.

Le plateau supérieur de ce condensateur était chargé par une pile de petits daniells secs de Beetz. Une disposition assez compliquée permettait d'interrompre la charge à un certain moment, de décharger l'appareil, puis de relier le plateau supérieur avec un électromètre de Kirchhoff,

1. Aug. Righi, *Nuovo Cim.*, avril, mai et juin 1873 ; 2<sup>e</sup> série, t. XIII, 1875, p. 203-226 ; t. XIV, p. 132 ; t. XV, 1876, p. 5-34 et 97-116 ; Villari et Righi, *ibid.*, 3<sup>e</sup> série, t. XI, 1882, p. 42-44 ; *Journ. de Phys.*, t. II, p. 406 ; t. V, p. 135 et p. 182 ; t. VI, p. 227 ; 2<sup>e</sup> série, t. II, p. 522.

2. *Journ. de Phys.* t. V, p. 248.

3. *Nuovo Cim.*, 3<sup>e</sup> série, t. XI, 1882, p. 50-73 ; t. XIX, 1886, p. 143-160 et 193-204 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. II, p. 522 ; t. VI, p. 587.

4. *Wied. Ann.*, t. XXV, 1885, p. 545 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. V, p. 130.

qu'on lisait de minute en minute pendant un quart d'heure. En appelant  $P_0$  le potentiel initial et  $P$  le potentiel au temps  $t$ , la théorie a donné la formule

$$P = P_0 - P_0 e^{\beta t} [1 - 2\psi(\alpha\sqrt{t})]$$

qui s'est trouvée d'accord avec l'expérience.  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes qui dépendent de la durée de la charge, et  $\psi$  une fonction définie par

$$\psi(R) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_0^R e^{-r^2} dr$$

Cette formule donne aussi les deux propositions suivantes, qui ont été vérifiées expérimentalement :

1° Pour des temps de charge égaux, le résidu est proportionnel à la charge primitive du condensateur.

2° Les résidus fournis par des charges égales, après des temps égaux, dépendent de la durée de la charge.

Dans le calcul, l'auteur a supposé le diélectrique d'épaisseur infinie ; en tenant compte de l'épaisseur, on est conduit aux fonctions  $\theta$  et l'on obtient des séries qu'il n'a pas réussi à mettre d'accord avec l'expérience.

M. Arons a fait remarquer<sup>1</sup> que, d'après la théorie de Maxwell, un diélectrique ne peut présenter de résidu que par suite d'un défaut d'homogénéité. Dans les expériences de M. Dieterici, il attribue le résidu observé à la présence de traces d'huile, introduites par le dispositif de l'expérience. M. Arons n'a pas trouvé de résidu en employant de la paraffine pure, tandis que des traces de matière étrangère donnaient un résidu très notable.

M. Hertz a signalé en 1883<sup>2</sup> des particularités curieuses présentées par la benzine au point de vue de la pénétration et des résidus. Un condensateur, dont ce liquide formait le diélectrique, était mis en communication par l'armature interne avec le sol et par l'autre avec un des pôles d'une pile dont l'autre pôle était à la terre. L'armature interne était en

1. *Wied. Ann.*, t. XXXV, 1888, p. 291-314 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. VIII, p. 597.

2. *Wied. Ann.*, t. XX, 1883, p. 279 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. III, p. 141.

suite isolée, et reliée à l'une des paires de quadrants d'un électromètre, dont l'autre paire communiquait avec le sol. La déviation au bout d'une seconde était prise comme mesure de la résistance du liquide.

Pour observer le résidu, on fermait le condensateur sur lui-même pendant une seconde, puis on le reliait à l'électromètre, dont la déviation atteignait, au bout d'un certain temps, un maximum qu'on prenait pour mesure du résidu.

Avec la benzine du commerce, la conductibilité et le résidu, d'abord très grands, diminuent avec le temps et deviennent presque nuls. L'auteur attribue la conductibilité et le résidu observés au commencement à des impuretés, car ils augmentent quand on salit le liquide, et diminuent quand on le purifie mécaniquement ou par distillation. Le courant opère la purification et transforme la benzine en un diélectrique presque parfait.

M. von Bezold a étudié la charge et la conductibilité des diélectriques et la réfraction des lignes de force à la surface de séparation de deux milieux.

Si l'on admet qu'à la surface de séparation de deux diélectriques les composantes tangentielles du champ soient égales dans les deux milieux, on sait qu'on a <sup>1</sup>

$$\frac{k_1}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{k_2}{\operatorname{tg} \alpha_2}$$

M. von Bezold <sup>2</sup> a cherché à vérifier cette relation, d'après laquelle les lignes de force doivent s'écarter de la normale, en passant d'un milieu dans un autre ayant un pouvoir inducteur supérieur à celui du premier.

Il se sert d'une boule de laiton A, noyée au centre d'un parallélépipède de paraffine, et munie d'une tige horizontale qui sert à la charger. Une aiguille de gomme laque, terminée par deux balles de sureau qui reçoivent des charges égales et contraires, est suspendue horizontalement, par un fil de cocon, devant la face terminale du parallélépipède, et à la hauteur du centre de la boule A. La théorie montre que, si le diélec-

1. Mascart et Joubert, *Leçons sur l'Électricité et le Magnétisme*, t. I, p. 115.

2. *Wied. Ann.*, t. XXI, 1884, p. 401-409; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. IV, p. 567.

trique se terminait par un plan indéfini, les lignes de force dans l'air seraient des droites, qui iraient converger en arrière de la boule A, à une distance  $kd$  de la face terminale,  $d$  étant la distance du centre de A à cette face. L'auteur observait à l'aide d'une lunette la position prise par l'aiguille mobile, lorsque la boule A était électrisée. Il a cru pouvoir conclure de cette expérience que les lignes de force se coupent vraiment en arrière de la boule A, mais il n'a pas pu en déduire la constante diélectrique  $k$ .

L'auteur rappelle ensuite la *réfraction de l'étincelle*, signalée par M. Mascart<sup>1</sup>. D'après lui la première étincelle serait presque verticale dans l'air, et presque horizontale dans le liquide. Les étincelles suivantes suivraient seules le chemin indiqué par M. Mascart, qui est analogue à celui que suit la lumière : elles seraient à peu près horizontales dans l'air et verticales dans le liquide.

Enfin il propose<sup>2</sup> l'expérience suivante pour montrer l'existence du pouvoir inducteur. Deux plateaux conducteurs égaux, suspendus à un fléau de balance, se font équilibre et forment deux condensateurs identiques avec deux plateaux fixes, disposés au-dessous et communiquant avec le sol. Si l'on fait communiquer les deux plateaux mobiles avec une même source, l'équilibre subsiste : il est rompu si l'on interpose d'un côté une lame diélectrique.

La dilatation électrique des condensateurs de verre sphériques ou cylindriques a été étudiée par plusieurs observateurs. Les résultats des expériences de M. Quincke<sup>3</sup> ont été comparés par lui-même et par M. Boltzmann<sup>4</sup> avec ceux que fait prévoir la théorie. M. Lorberg<sup>5</sup> a montré les erreurs commises et donné de nouvelles formules plus générales que celles de M. Boltzmann, mais il n'a pas pu, faute de données suffisantes, les appliquer aux expériences de M. Quincke. Les expériences dont il s'agit ont été citées plus haut (page 24) ; elles consistaient à observer une bulle d'air placée entre les deux plateaux horizontaux d'un condensateur plongé dans le liquide isolant. Quand on chargeait le con-

1. *Traité d'électricité statique*, t. II, p. 112.

2. *Wied. Ann.*, t. XXIII, p. 426-447 ; *Journ. de Physique*, 2<sup>e</sup> série, t. IV, p. 566.

3. *Wied. Ann.*, t. X, 1880, p. 161 ; t. XIX, 1883, p. 545.

4. *Wien. Ber.*, 1880.

5. *Wied. Ann.*, t. XXI, 1884, p. 300-329 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. IV, p. 569.

densateur, la bulle s'allongeait dans la direction des lignes de force et se contractait perpendiculairement.

M. Korteweg<sup>1</sup> et M. Kirchhoff<sup>2</sup> ont fait aussi le calcul relatif à un condensateur sphérique ; ils ont trouvé des résultats semblables à ceux de M. Lorberg.

La biréfringence des diélectriques transparents a été observée par M. Kerr<sup>3</sup>, en 1875. Il a constaté qu'une lame de glace, dans laquelle on introduit les deux pôles d'une machine ou d'une bobine d'induction, exerce une action dépolarisante sur la lumière qui la traverse normalement aux lignes de force. L'effet est maximum quand le plan de polarisation est à 45° de ces lignes ; il est nul ou irrégulier quand ce plan leur est parallèle ou perpendiculaire ; il augmente avec la tension électrique ; il exige un certain temps pour apparaître et pour disparaître. Le sens de l'électrisation est sans influence. Le verre et le quartz se comportent comme s'ils étaient comprimés parallèlement aux lignes de force : leur double réfraction est négative. Elle est positive pour la résine.

Des résultats analogues ont été observés avec les liquides<sup>4</sup> : le sulfure de carbone, l'huile de paraffine, le blanc de baleine, etc., sont positifs, les huiles de colza, d'olive, de lin, etc., sont négatives.

Ces expériences ont été répétées sur une plus grande échelle par M. Gordon, puis par M. Röntgen<sup>5</sup>, et complétées en 1880 par M. Kerr<sup>6</sup>, qui a donné la loi suivante : La différence de marche du rayon ordinaire et du rayon extraordinaire varie en raison directe du carré de la force électrique résultante. Ces résultats sont tout à fait conformes aux vues de Faraday et de Maxwell sur l'action des diélectriques.

M. Quincke<sup>7</sup> a étendu en 1883 la loi de Kerr à un certain nombre de liquides. L'étude des mélanges a montré que leur constante de biréfringence ne peut pas se calculer par la règle des mélanges. L'auteur a

1. *Wied. Ann.*, t. IX, 1880, p. 48.

2. *Wied. Ann.*, t. XXIV, 1885, p. 52 ; *Journ. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. V, p. 175.

3. *Phil. Magaz.*, 4<sup>e</sup> série, t. L, p. 337 ; *Journ. de Phys.*, t. IV, p. 376, nov. 1875.

4. *Phil. Mag.*, t. LX, p. 446, déc. 1875 ; *Journ. de Phys.*, t. V, p. 98.

5. *Ueber die von Herrn Herr gefundene neue Beziehung zwischen Licht und Elektrizität* XIX. Ber. der. Oberh. Gesellsch. für Natur, und Heilk., p. 1 ; Gordon, *Électricité*, t. II, p. 574.

6. *Phil. Mag.*, 1880, p. 157.

7. Mém. déjà cités.

observé en même temps un phénomène curieux : lorsque les forces électriques à l'intérieur du liquide sont soumises à des fluctuations périodiques par variation de la différence de potentiel, on voit des bulles s'élever dans le liquide isolant, et l'on entend un son musical dont la hauteur décroît avec la différence de potentiel.

Dans des expériences récentes <sup>1</sup>, M. Oddone a cherché si la biréfringence acquise par les liquides isolants placés entre les deux armatures d'un condensateur peut être attribuée, comme a cru le démontrer M. Quincke, à un changement de volume qui serait une augmentation pour les liquides positifs, une diminution pour les liquides négatifs, augmentation ou diminution proportionnelle au carré de la charge du condensateur et en raison inverse de sa surface.

L'appareil est une sorte de thermomètre en verre, dont le réservoir, assez gros, renferme deux lames de platine formant les armatures du condensateur. M. Oddone croit pouvoir conclure, peut-être un peu prématurément, qu'il ne se produit pas, pour les charges employées, de variation de volume des liquides isolants sous l'action des forces électriques ; les dilatations observées seraient dues à un échauffement provoqué soit par la polarisation du liquide, soit par le passage du courant à travers des liquides imparfaitement isolants.

M. Bobyleff <sup>2</sup> a étudié l'influence des milieux diélectriques sur les conducteurs électrisés qui y sont plongés. Il a montré que la distribution sur les conducteurs placés dans un diélectrique est la même que dans le vide pour la même tension, mais la densité est augmentée dans le rapport  $1 + 4\pi k$ ,  $k$  étant la capacité inductive du milieu. L'action réciproque de deux conducteurs placés dans un diélectrique est diminuée dans le rapport de 1 à  $k^2$ , si la quantité d'électricité reste la même que dans le vide.

L'auteur a examiné également <sup>3</sup> l'action des supports isolants ; il a traité en particulier le cas d'une sphère métallique portée par un cône isolant ayant son sommet au centre de la sphère et celui du condensateur sphérique de Faraday. Dans le premier, la capacité de la sphère est

1. *Rendiconti d. R. Accad. dei Lincei*, 15 mai 1890 ; *Journ. de Phys.*, 1891, p. 145.

2. *Soc. de Phys. de Saint-Petersbourg*, 1875, p. 64 et 122 ; *Journ. de Phys.*, t. V, p. 258.

3. *Soc. de Phys. de Saint-Petersbourg*, t. X, 1878, p. 5-14 ; *Journal de Phys.*, t. VIII, p. 321.

augmentée dans le rapport  $1 + (k-1)\frac{\omega}{4\pi}$ ,  $\omega$  étant l'angle d'ouverture du cône isolant.

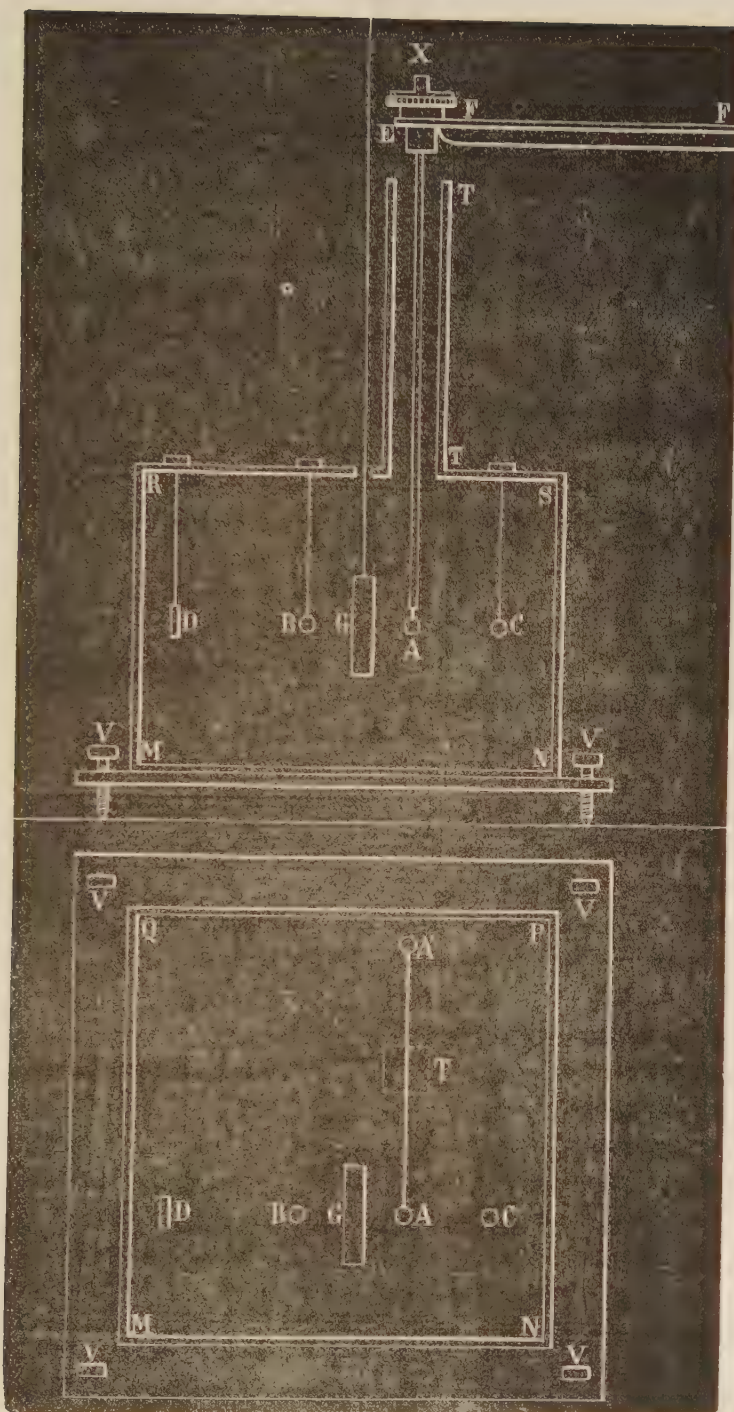
## CHAPITRE II

### Expériences relatives à l'action d'un point électrisé.

Je me suis proposé d'étudier l'action des diélectriques dans le cas où le champ est dû à un seul point électrisé ; je me suis servi pour cela d'une balance de Coulomb légèrement modifiée, et de grandes dimensions. L'aiguille est portée par une suspension bifilaire. La boule fixe peut se mouvoir sur une perpendiculaire à la position d'équilibre de l'aiguille. Les deux boules peuvent être mises en communication avec l'un des pôles d'une bobine de Ruhmkorff, dont l'autre pôle est à la terre. Je mesure les répulsions, soit en interposant une lame diélectrique, soit après l'avoir enlevée, en tordant le fil de suspension, de manière à ramener l'aiguille mobile au zéro.

*Description de la balance.* — Cette balance de Coulomb est formée d'une grande cage à base carrée MNPQ, de 70 centim. de côté et de 50 centim. de hauteur (fig. 1).

L'une des parois verticales MNRS est formée d'une glace à faces parallèles ; une autre MQ s'ouvre pour permettre d'introduire les diélectriques. Tout l'intérieur est revêtu d'étain, sauf la partie de la glace à travers laquelle on vise les boules, et cette enveloppe métallique est reliée au sol par l'intermédiaire d'une conduite de gaz. Pour empêcher la production de courants d'air intérieurs, dus aux variations de température, la cage est entourée d'une caisse plus grande remplie d'une couche épaisse de matières peu conductrices ; cette seconde enveloppe, non figurée, est percée en face des deux boules d'une ouverture allongée dans le sens horizontal. Quatre vis calantes VV permettent de régler la position de la cage.



Sur le couvercle est fixé un tube TT vertical, long d'environ 50 cm., dans lequel passe le fil de suspension ; ce tube est à base carrée. Deux de ses faces opposées sont formées par des glaces planes qui peuvent s'enlever. Cette disposition facilite la mise en place du fil de cocon et permet de constater qu'il ne présente aucune torsion. Enfin le tube ainsi constitué n'est pas au centre de l'appareil, mais à 25 cm. des deux côtés NP et PQ ; il se trouve par suite à 45 cm. de la glace MN. Pour éviter l'influence des trépidations du sol, la tête de torsion X, qui supporte l'aiguille, n'est pas disposée au sommet du tube ; elle est fixée au bout d'une barre de fer horizontale FF, de section en forme de T, scellée dans un mur épais, et terminée par un anneau de même métal. La tête de torsion, semblable à celles des balances ordinaires, est fixée dans une pièce d'ébonite E qui entre exactement dans l'anneau de fer et s'y trouve maintenue par un écrou également isolant. Le fil de cocon est fixé par ses deux extrémités à un petit treuil qui permet de l'allonger ou de le raccourcir à volonté ; les deux brins passent ensuite sur un second treuil portant deux pas de vis en sens contraire ; en tournant ce treuil dans un sens ou dans l'autre, on fait varier l'écartement des deux fils. Cette partie de l'appareil a été construite par M. Ducretet.

*Avantages de la suspension bifilaire sur le fil d'argent.* — Avant d'employer une suspension bifilaire, j'ai fait de nombreux essais avec des fils d'argent et de laiton de différents diamètres ; mais les fils un peu gros manquaient de sensibilité, et les fils fins donnaient un déplacement continu du zéro, qui rendait les mesures extrêmement difficiles. Je me suis servi surtout d'un fil d'argent de  $\frac{1}{20}$  mm. de diamètre, avec lequel j'ai pu obtenir quelques résultats. Avant d'être introduit dans la balance, ce fil était recuit soigneusement ; pour cela, je le tendais suivant l'axe d'un tube de cuivre rempli de charbon en poudre, et, après l'avoir porté au rouge, je le laissais refroidir lentement, puis je le suspendais verticalement pendant un temps assez long en le tendant par un poids de 30 à 35 gr.. Malgré ces précautions, les fils d'argent m'ont toujours paru subir des changements de zéro très fréquents, et qui persistaient au moins en partie : en général, ils gardaient une partie de la torsion qu'ils avaient reçue. Ayant suspendu un de ces fils dans une position verticale, j'observai que le petit plateau chargé de poids, fixé à la partie inférieure, avait tourné de 90° au bout d'un

mois; au bout de 3 mois, la rotation était voisine de  $180^\circ$ ; puis le fil revint sur lui-même et finit par casser. Ces essais m'ont déterminé à remplacer le fil d'argent par une suspension bifilaire, avec laquelle les déplacements du zéro sont très faibles. Les expériences deviennent alors beaucoup plus rapides.

L'aiguille mobile de la balance est formée d'un fil de verre AA', de 45 cm. de longueur, enduit de plusieurs couches de gomme laque. Ce fil traverse une petite pièce d'ébonite, très légère, qui sert à le suspendre, et qui le divise en deux parties inégales. La partie la plus longue, qui a 25 cm., se termine par une balle de sureau dorée A de 1,3 cm. de diamètre; l'autre, qui est un peu plus courte, porte une balle de gomme laque A', qui peut se déplacer légèrement et qui sert de contrepoids. Un petit miroir plan est fixé au bas de la pièce d'ébonite, perpendiculairement à l'aiguille. Dans sa position d'équilibre, l'aiguille est perpendiculaire à la glace plane MN, et la boule dorée se trouve à 20 cm. de cette glace.

La boule fixe B, de même diamètre que la première, est portée par un fil de verre vertical, fixé à une pièce qui glisse dans une rainure pratiquée sur le couvercle, parallèlement à la glace MN. En faisant avancer cette pièce, on fait décrire au centre de la boule fixe une ligne horizontale, parallèle à cette glace, et passant par le centre de la boule mobile, lorsque celle-ci est au zéro. Cette disposition permet de mesurer directement la distance des boules, par la disposition indiquée plus loin.

Les diélectriques G sont placés entre les deux boules; ils se trouvaient, dans les premières expériences, à 6 ou 7 cm. de la boule mobile; ils ont été placés ensuite à 10 ou 12 cm., ce qui n'a rien changé aux résultats. Ils sont suspendus, perpendiculairement à la ligne qui joint les centres des deux boules, par deux fils de soie qui traversent le couvercle de la balance, passent sur des poulies fixées au plafond du laboratoire et s'enroulent sur un treuil fixé au mur.

Dans quelques expériences, les fils de verre portant la boule fixe et les pièces du compensateur, qui sera décrit plus loin, ont été remplacés par des fils de cuivre et celui de l'aiguille mobile par un fil d'aluminium. Ce dernier a dû être abandonné, parce qu'il se courbait avec le temps, et l'aiguille n'oscillait plus aussi facilement.

*Emploi d'un compensateur.* — J'ai constaté, dès les premiers essais, que les parois de la cage, s'électrisant par influence, exerçaient sur la boule

A des actions notables, dont la résultante était une attraction vers la paroi NPS ; pour ramener la boule A au zéro, il fallait une torsion d'environ  $120^\circ$  (fil d'argent). Pour remédier à cet inconvénient, j'ai revêtu tout l'intérieur de la cage d'une couche métallique en communication avec le sol, et j'ai équilibré l'attraction des parois par un compensateur.

Après divers essais, j'ai été amené à former cet appareil de deux boules ou plutôt d'une boule C et d'un disque D isolés, placés en ligne droite avec les deux boules principales et portés au même potentiel. Le disque D est fixé à une pièce glissant dans la même rainure que la boule fixe et placée vers l'extrémité de cette rainure ; la boule C est fixée à une pièce glissant dans une rainure creusée sur le prolongement de la première, mais de l'autre côté de la boule mobile. Dans chaque expérience, le compensateur est réglé comme on le verra plus loin. Les deux pièces C et D sont d'abord disposées de façon à maintenir la boule A au zéro en présence du diélectrique, puis, dans la seconde partie de l'expérience, le diélectrique étant supprimé, il faut, pour maintenir la compensation, ou bien déplacer l'une des deux pièces, par exemple la boule C, ou bien, comme je l'ai fait quelquefois, donner au bifilaire une certaine torsion. Le disque D reste immobile pendant toute l'expérience. On conçoit que, si l'une des pièces CD est fixée en un point arbitraire, on peut généralement amener l'autre dans une position telle que la compensation soit réalisée. On peut donc donner au compensateur CD une foule de positions différentes, mais cela n'est pas sans importance ; en écartant plus ou moins ses deux pièces, on fait varier la sensibilité de l'aiguille et aussi la grandeur de l'erreur relative à la loi de Coulomb. Dans certains cas, j'ai donné aux pièces CD l'écartement maximum, afin de disposer d'une course plus grande pour la boule B ; dans d'autres, j'ai choisi la position qui permet de se rapprocher le plus de la loi de Coulomb. Le déplacement de la boule compensatrice peut être mesuré grossièrement par une division tracée sur le bord de la rainure correspondante.

*Mesure de la distance des boules.* — Dans chaque expérience, la boule mobile A est ramenée au zéro en tordant le fil à la partie supérieure : la distance des boules est donc facile à mesurer. J'ai employé pour cela un cathétomètre à tige triangulaire, long de 50 centim.. Cet appareil, débarrassé de son pied à vis calantes, est fixé horizontalement en face de la glace plane, parallèlement à celle-ci et à une distance

d'environ 120 cm. En visant avec cet instrument le fil de suspension, je détermine la position d'équilibre de l'aiguille ; il suffit de viser ensuite la boule fixe dans chaque position, pour connaître sa distance à la boule mobile. Le cathétomètre porte un vernier au  $\frac{1}{20}$ , ce qui donne une précision plus que suffisante.

*Mesure de la torsion.* — J'ai dit que l'aiguille A est toujours ramenée au zéro en tordant le fil à sa partie supérieure. L'angle de torsion est mesuré à la manière ordinaire, sur le petit cercle divisé que porte la tête de torsion. Pour vérifier si l'aiguille est exactement au zéro, un viseur est installé en arrière du cathétomètre, à 2 m. environ de la glace ; la règle divisée qui lui correspond est placée immédiatement devant la tige du cathétomètre.

*Préparation des diélectriques.* — Les expériences ont porté sur des plaques à faces parallèles de soufre, de paraffine, d'ébonite et de glace de Saint-Gobain, et sur des liquides (sulfure de carbone, essence de térébenthine) contenus dans une cuve de verre à faces parallèles. J'ai employé, outre la paraffine blanche du commerce, un échantillon de paraffine brune, fourni par M. Carpentier, qui considère cette variété comme isolant mieux que la paraffine ordinaire.

Toutes les plaques sont carrées et ont 15 cm. de côté. Cependant je me suis servi aussi de quelques plaques de paraffine rondes, de 19 cm. de diamètre, qui ont donné les mêmes résultats. Celles de paraffine et de soufre sont coulées dans un moule formé de quatre plaques de bois réunies par des vis : le fond est une lame de verre. Ce moule, placé sur un support à vis calantes, est rendu horizontal au moyen d'un petit niveau à bulle d'air, posé sur la plaque de verre. Je coule la substance fondue, et, après refroidissement, j'en ajoute une petite quantité pour obvier au retrait, qui est souvent considérable, surtout avec la paraffine. Le moule est démonté ; puis je perce dans la plaque deux trous près des bords pour la suspendre, et je l'introduis immédiatement dans la balance.

La surface des plaques d'ébonite était passée au papier de verre et renouvelée avec soin ; celle des plaques de glace était lavée et bien nettoyée. Toutes ces plaques étaient ensuite laissées un certain temps, avant d'être employées, dans la balance elle-même ou dans une cage de verre contenant du chlorure de calcium, pour éviter les effets de l'électrisation

développée par le frottement. Toutes les plaques sortant de la balance et qui devaient servir de nouveau étaient placées dans la même cage.

*Mesure de l'épaisseur des plaques.* — L'épaisseur des plaques a été mesurée avec un cathétomètre, après qu'elles eurent servi aux expériences. La plaque est posée sur une lame de verre rodée rendue bien horizontale par un support à vis calantes. Une vis à deux pointes, disposée verticalement au-dessus, est amenée au contact de la face supérieure du diélectrique, puis de la plaque de verre. Je vise dans ces deux positions la pointe supérieure de la vis avec un cathétomètre. Cette disposition rend inutile l'emploi d'une vis bien travaillée. Je fais cette mesure pour cinq points pris dans les diverses régions de la plaque et je prends la moyenne.

Les liquides employés étaient placés dans une cuve de verre à faces parallèles et bien minces, collée avec un mélange de craie et de silicate de potasse. L'épaisseur du liquide a été obtenue de deux manières : j'ai mesuré l'épaisseur extérieure de la cuve par la méthode précédente, et j'en ai retranché l'épaisseur des faces, mesurée sur la cuve décollée; en outre, j'ai mesuré dans cet état l'épaisseur des plaques de verre formant le fond et les parois latérales. Ces deux procédés ont donné 3 centimètres.

*Électrisation des boules.* — La source d'électricité employée est une bobine de Ruhmkorff, alimentée par 4 ou 5 éléments Bunsen et donnant environ 1,5 cm. d'étincelle. Un galvanomètre à une seule aiguille, placé en dérivation et loin des autres appareils, permet de vérifier la constance du courant inducteur. Un rhéostat, formé d'un fil de platine tendu entre deux bornes isolées, sert à rendre le courant constant, s'il y a lieu; mais le plus souvent cette précaution s'est trouvée inutile, les piles restant constantes pendant toute une série d'expériences. L'un des pôles de la bobine est en communication permanente avec le sol par une conduite de gaz, l'autre avec un interrupteur formé d'une plaque carrée d'ébonite percée de trois trous remplis de mercure et formant un triangle équilatéral. La bobine est reliée avec l'un de ces trous; la boule fixe B de la balance avec le second, et le troisième reçoit les fils qui aboutissent à la boule mobile A et aux deux pièces CD du compensateur. En réunissant le premier trou avec le troisième par un petit pont en fil de cuivre, je charge seulement A et CD, pour le réglage du compensateur; en le

réunissant avec le second et le troisième, je charge toutes les pièces pour les expériences.

Toutes les communications sont établies par des fils de cuivre très fins, recouverts de soie blanche, et suspendus au plafond par des fils de soie. Ces fils de cuivre pénètrent dans la balance en passant dans des tubes d'ébonite fixés sur le couvercle, qui servent à éviter les étincelles. Celui qui est destiné à la boule mobile se rend à un petit cristalliseur rempli de potasse concentrée et posé sur un bloc d'ébonite, exactement au-dessous du fil de suspension. Dans ce liquide plonge un autre fil fin, qui monte verticalement jusqu'à l'aiguille, s'enroule autour du fil de verre et aboutit à la boule mobile. Les autres fils se rendent directement à la boule fixe et aux deux parties du compensateur; ils ont une longueur suffisante pour permettre le libre jeu de ces trois pièces. Dans l'intervalle des expériences, toutes les parties de l'appareil sont mises en communication avec le sol par l'intermédiaire de l'interrupteur.

*Marche des expériences.* — Le diélectrique est introduit dans la balance, suspendu aux fils de soie et réglé bien verticalement; je place aussi dans l'appareil un petit vase de métal contenant du chlorure de calcium. La balance est refermée et abandonnée à elle-même pendant deux ou trois jours au moins, afin d'éviter l'électrisation produite par la manipulation du diélectrique. Après ce temps, je vérifie si l'aiguille est exactement au zéro, je soulève le diélectrique, au moyen du treuil qui le commande, de manière à l'amener à la hauteur des deux boules. Je fais alors communiquer la bobine de Ruhmkorff avec l'aiguille et les deux pièces du compensateur, mais non avec la boule fixe, et je dispose le compensateur de façon à ramener l'aiguille au zéro. Je relie enfin la boule fixe à la bobine, et je la rapproche ou l'éloigne de la boule mobile, en mesurant dans chaque position la distance des deux balles et la torsion correspondante. Le zéro est vérifié de temps en temps.

Pour déterminer la répulsion des deux boules en l'absence du diélectrique, il ne suffit pas d'abaisser celui-ci jusqu'au fond de la cage: il exercerait encore une action notable; il faut donc l'enlever complètement, ce que je fais immédiatement après la première série d'expériences. Je referme l'appareil et j'attends au lendemain pour déterminer la répulsion sans le diélectrique. Cette seconde série de mesures se fait comme la première; mais, après avoir vérifié si l'aiguille est au zéro, et chargé

le compensateur et la boule mobile, il faut, pour maintenir cette dernière au zéro, déplacer la boule compensatrice d'une certaine quantité; le sens de ce déplacement paraît dépendre de la position du compensateur. Le plus souvent, il a fallu rapprocher la boule; quelquefois, lorsque les deux pièces du compensateur étaient plus écartées, il a fallu au contraire l'éloigner. Ce déplacement opéré, on procède à la seconde série de mesures.

Enfin, dans quelques expériences, on n'a pas déplacé du tout le compensateur, et l'on a corrigé l'effet de l'introduction du diélectrique en donnant au bifilaire une torsion préalable. Les résultats n'ont pas été changés.

*Corrections.* — Avant d'indiquer les résultats obtenus, je dois faire remarquer que les nombres observés ont dû subir plusieurs corrections.

I. J'ai cherché d'abord si, dans chaque expérience, la force répulsive est bien représentée par le sinus de l'angle de torsion du bifilaire. Pour cela, j'ai fixé, au bas de la petite pièce d'ébonite qui forme le milieu de l'aiguille mobile et qui porte le miroir, un fil d'argent de  $\frac{1}{20}$  mm. de diamètre et d'environ 25 cm. de longueur. Ce fil, recuit avec les précautions indiquées plus haut, était tendu à la partie inférieure par une petite pince portant un index, et placée au-dessus d'un cercle divisé mobile.

Le système mobile étant bien en équilibre sans torsion, je cale l'index inférieur sur le cercle divisé, de façon à empêcher cet index de tourner, tout en lui permettant un déplacement vertical. Je tourne ensuite le cercle divisé inférieur, dont la rotation est mesurée par un index fixe; cette opération tord le fil d'argent, et je ramène l'aiguille au zéro en tordant le bifilaire en sens contraire.

De nombreuses expériences, dans lesquelles j'ai fait varier progressivement le poids de la pince inférieure jusqu'à la charge limite que peut porter le bifilaire, ont montré que celui-ci ne suit jamais exactement la loi du sinus. En effet, si l'on construit une courbe ayant pour abscisse le sinus de la déviation du bifilaire et pour ordonnée la déviation du fil d'argent, cette courbe, qui devrait être une droite passant par l'origine, présente d'abord, à partir de ce point, une légère convexité vers l'axe

des  $\alpha$ , avant de devenir une droite. Les résultats sont les mêmes, quelle que soit la charge supportée par le bifilaire, et quel que soit le sens de la déviation. J'ai choisi les deux expériences suivantes, qui sont bien concordantes, et qui ont été faites en donnant à tout l'appareil mobile un poids sensiblement égal à celui que présentait l'aiguille dans les expériences sur les diélectriques.

| TORSION DU   |           | TORSION DU   |           |
|--------------|-----------|--------------|-----------|
| FIL D'ARGENT | BIFILAIRE | FIL D'ARGENT | BIFILAIRE |
| 7,5          | 6         | 7,5          | 5,5       |
| 15           | 10,5      | 15           | 11        |
| 30           | 21,5      | 22,5         | 15        |
| 45           | 32        | 37,5         | 25        |
| 60           | 44        | 52,5         | 37        |
| 75           | 57        | 67,5         | 49,5      |
| 90           | 81,5      | 82,5         | 67,5      |
| 82,5         | 67        | 90           | 91        |
| 67,5         | 51        | 75           | 58        |
| 52,5         | 38        | 60           | 43,5      |
| 37,5         | 26        | 45           | 31        |
| 22,5         | 15,5      | 30           | 20        |

A l'aide de ces deux séries d'expériences, j'ai construit deux courbes ayant pour ordonnées les torsions du fil d'argent et pour abscisses, l'une les déviations du bifilaire, l'autre les sinus de ces déviations. J'ai pu dresser ainsi une table de correction, qui m'a permis de remplacer, dans toutes les expériences, la déviation observée par la force répulsive correspondante, exprimée en degrés de torsion du fil d'argent.

II. D'autre part, j'ai calculé l'effet de l'influence réciproque des deux boules par la méthode des images électriques.

Les deux boules de rayon  $R$  étant supposées au potentiel 1, et leurs centres à une distance  $d$  l'un de l'autre, l'action exercée sur la boule mobile se compose des forces suivantes :

1° Au centre :

$$+ \frac{R^2}{d^2} - \frac{R^3 d}{(d^2 - R^2)^2} + \frac{R^4 (d^2 - R^2)}{d^2 (d^2 - 2 R^2)^2} - \frac{R^5 d (d^2 - 2 R^2)}{(d^4 - 3 d^2 R^2 + R^4)^2} + \dots$$

2° à une distance  $\frac{R^2}{d}$  du centre

$$- \frac{R^3 d}{(d^2 - R^2)^2} + \frac{R^4}{(d^2 - 2 R^2)^2} - \frac{R^5 d (d^2 - R^2)}{(d^4 - 3 d^2 R^2 + R^4)^2} + \dots$$

3° à une distance  $\frac{R^2 d}{d^2 - R^2}$  du centre

$$+ \frac{R^4 (d^2 - R^2)}{d^2 (d^2 - 2 R^2)^2} - \frac{R^5 d (d^2 - R^2)}{(d^4 - 3 d^2 R^2 + R^4)^2} + \dots$$

4° à une distance  $\frac{R^2}{d} \frac{d^2 - R^2}{d^2 - 2 R^2}$

$$- \frac{R^5 d (d^2 - 2 R^2)}{(d^4 - 3 d^2 R^2 + R^4)^2} + \dots$$

Pour avoir l'action totale, il suffit d'additionner toutes ces forces. J'ai donc calculé les valeurs de cette résultante pour différentes distances des deux boules, ainsi que la force  $\frac{R^2}{d^2}$ , qui s'exercerait s'il n'y avait pas d'influence. En divisant la valeur de la première force par celle de la seconde, on obtient le rapport dans lequel la répulsion se trouve diminuée par l'influence, pour une distance déterminée. Il suffit donc de multiplier la répulsion observée par le rapport inverse, soit S, pour corriger l'effet de l'influence.

Mais il est plus simple, au lieu de corriger les torsions observées, de faire porter la correction sur la distance, ce qui permet de la calculer une fois pour toutes. La masse des boules étant diminuée par l'effet de l'influence, on peut obtenir le même résultat en supposant les masses électriques constantes et en augmentant la distance des centres. Il est évident qu'il suffit de multiplier la distance par  $\sqrt{S}$ .

Le tableau suivant donne, pour diverses valeurs de  $d'$ , le rapport S par lequel il faudrait multiplier les torsions, le rapport  $\sqrt{S}$  par lequel

j'ai multiplié les distances, enfin les distances  $d$  ainsi corrigées, le rayon R des sphères étant égal à 0,65 cm.

| $d'$ | S      | $\sqrt{S}$ | $d$    | $d'$ | S      | $\sqrt{S}$ | $d$    |
|------|--------|------------|--------|------|--------|------------|--------|
| 7    | 1,1984 | 1,0947     | 7,663  | 16   | 1,0832 | 1,0408     | 16,652 |
| 8    | 1,1718 | 1,0825     | 8,660  | 17   | 1,0782 | 1,0383     | 17,652 |
| 9    | 1,1515 | 1,0730     | 9,658  | 18   | 1,0737 | 1,0362     | 18,651 |
| 10   | 1,1353 | 1,0655     | 10,655 | 19   | 1,0697 | 1,0343     | 19,651 |
| 11   | 1,1227 | 1,0596     | 11,655 | 20   | 1,0661 | 1,0325     | 20,651 |
| 12   | 1,1120 | 1,0545     | 12,654 | 22   | 1,0601 | 1,0296     | 22,651 |
| 13   | 1,1030 | 1,0503     | 13,653 | 25   | 1,0527 | 1,0260     | 25,650 |
| 14   | 1,0954 | 1,0466     | 14,653 | 27   | 1,0487 | 1,0241     | 27,650 |
| 15   | 1,0889 | 1,0435     | 15,652 | 30   | 1,0438 | 1,0217     | 30,650 |

On voit que cette correction consiste à ajouter à toutes les distances une quantité sensiblement constante et qui, dans ce cas, est à peu près égale au rayon des boules. J'ai ajouté 0,66 aux distances comprises entre 7 et 10 cm., et 0,65 à toutes les distances plus grandes.

Une correction analogue devrait être faite pour l'influence des deux pièces du compensateur sur la boule fixe. Dans le cas où cet appareil était formé de deux boules, j'ai calculé, pour diverses positions, l'influence de celle qui se trouvait en arrière de la boule fixe et, par conséquent, la plus rapprochée d'elle, et j'ai constaté qu'elle pouvait être négligée. L'influence de l'autre boule compensatrice est encore plus faible, puisqu'elle est plus éloignée. Enfin, il n'y a pas à s'inquiéter de l'influence du compensateur sur l'aiguille mobile, puisque le réglage est fait de telle sorte que les actions du compensateur et des parois sur cette aiguille s'annulent. Le compensateur ne donne donc lieu à aucune correction.

Enfin, malgré les deux corrections précédentes, qui d'ailleurs n'ont modifié en rien les résultats de mes expériences, les nombres obtenus tout d'abord, sans l'interposition d'un diélectrique, ne suivaient pas la loi de Coulomb, comme ils auraient dû le faire. Le produit C du carré de la distance par la force répulsive, au lieu d'être constant, augmentait notablement avec la distance.

Ce désaccord ne peut s'expliquer que par l'influence de la charge électrique des parois de la balance. Lorsqu'on électrise la boule fixe, après avoir réglé le compensateur, la charge des parois augmente ; lorsqu'on déplace cette boule, la distribution des masses situées sur les parois se modifie. Ces changements de distribution peuvent à leur tour faire varier la capacité des pièces situées dans l'intérieur. De là autant de causes d'erreur qu'on ne peut ni corriger ni éviter, puisqu'on ne peut employer une balance assez grande pour n'avoir pas à se préoccuper des parois.

L'explication qui précède est appuyée par ce fait que tout changement dans la disposition des parois ou du compensateur modifie notablement la valeur du désaccord avec la loi de Coulomb et peut même en changer le sens. Ainsi, j'ai fait quelques expériences en divisant la cage de la balance en deux parties à peu près égales par une cloison métallique verticale, perpendiculaire à la position de repos de l'aiguille mobile ; l'extrémité de cette aiguille traversait une fenêtre allongée percée dans la cloison. Cette disposition avait été essayée pour séparer les pièces isolantes (suspension de l'aiguille, cuve de potasse, support d'ébonite). Le compartiment où se faisaient les expériences ne renfermait alors que des pièces métalliques, savoir les deux boules principales et une seule boule compensatrice, placée du côté opposé à la boule fixe. Dans ce cas, l'erreur était changée de signe ; le produit  $C$  variait très fortement, mais en sens contraire de la distance. De plus, les déviations observées étaient beaucoup plus fortes que dans la disposition ordinaire : la capacité des boules était donc notablement augmentée. L'emploi de la cloison médiane a été abandonné.

D'un autre côté, j'ai été amené, après bien des essais, à observer que la valeur et le sens de l'erreur peuvent être modifiés en déplaçant le compensateur. La boule compensatrice étant à environ  $-12,5$  cm. de l'aiguille mobile et le disque compensateur dans la position correspondante, c'est-à-dire à peu près à  $+25$  cm., le produit  $C$  diminue sensiblement dans le rapport de 1 à 2, lorsque la distance  $d$  diminue de 20 à 7 cm. Si au contraire on écarte beaucoup plus les deux pièces du compensateur, ce produit passe par un maximum lorsque la distance  $d$  diminue. Dans le premier cas, il faut, lorsqu'on introduit le diélectrique, éloigner la boule compensatrice du zéro ; dans le second cas, il faut au contraire la rapprocher. Il semble donc qu'il y ait une position

intermédiaire du compensateur pour laquelle le produit C reste constant, et que, pour cette position, le réglage subsiste avec ou sans diélectrique.

Un certain nombre d'expériences, telles que XI et XII, ont été exécutées dans cette position ou dans son voisinage immédiat ; la variation du produit C n'y est pas supérieure aux erreurs d'expérience, si ce n'est pour un ou deux nombres de chaque série, qui sont du reste entachés de fortes erreurs d'expérience, ainsi que le montre l'examen des courbes correspondantes.

D'ailleurs, quels que soient la disposition intérieure de la balance et l'écartement des pièces du compensateur, quels que soient le sens et la grandeur de l'erreur relative à la loi de Coulomb, j'ai toujours obtenu les mêmes résultats. On peut donc conclure que ces différentes causes n'ont pas d'influence sur ces résultats.

On pouvait du reste prévoir qu'il en serait ainsi, mes recherches ayant seulement pour but d'observer la différence produite dans l'action répulsive par l'introduction d'un diélectrique.

Enfin, dans le plus grand nombre des expériences, la boule compensatrice a occupé une place différente suivant que le diélectrique était interposé ou enlevé. On peut objecter que ce déplacement de la boule compensatrice modifie l'influence des parois, qui ne serait plus la même dans les deux parties de l'expérience, d'où une cause d'erreur qui empêcherait d'apprécier exactement l'effet produit par l'introduction du diélectrique. Mais il est à remarquer que, dans les expériences XI et XII, ce déplacement a été seulement de 0,6 et de 0,2 cm. ; dans d'autres cas, je n'ai pas déplacé la boule compensatrice, et j'ai compensé l'introduction du diélectrique en donnant une torsion préalable au bifilaire. Toutes ces expériences donnant des résultats parfaitement concordants, la cause d'erreur que je viens de signaler n'a aucun effet appréciable.

*Résultats.* — Les expériences ont porté sur plus de vingt plaques solides, formées de paraffine blanche ou brune, d'ébonite, de soufre et de glace de Saint-Gobain, ainsi que sur deux liquides, le sulfure de carbone et l'essence de térébenthine. Tous les résultats étaient concordants, mais j'ai gardé seulement ceux qui m'ont paru les meilleurs. Pour faire ce choix, j'ai d'abord calculé, pour toutes les expériences faites sans diélectrique, le produit  $\alpha d^3$  de la torsion corrigée par le carré de la

distance corrigée, produit qui, d'après la loi de Coulomb, doit être constant, et j'ai éliminé celles pour lesquelles j'ai constaté des écarts trop nombreux et trop considérables.

La loi de Coulomb ne m'a cependant pas paru constituer un criterium suffisant, et j'ai éliminé aussi les expériences pour lesquelles les courbes dont il sera question plus loin ne pouvaient pas être construites avec assez de certitude. En résumé, j'ai donc gardé ici les seules séries dont la plupart des nombres se prêtent bien à la construction d'une courbe et ne présentent pas avec la loi de Coulomb un écart sensiblement supérieur au  $\frac{1}{10}$  de la valeur moyenne des produits  $\alpha d^2$ .

Il faut remarquer cependant qu'il se trouve dans la plupart des expériences un ou deux points qui s'écartent notablement des courbes et qui semblent par suite entachés de fortes erreurs d'expérience. Ces écarts fortuits me paraissent faciles à comprendre avec un appareil aussi délicat que la balance de Coulomb et présentant des dimensions aussi grandes que celui qui m'a servi. Le moindre courant d'air intérieur suffit pour altérer complètement le résultat d'une mesure. J'ai cru devoir conserver les nombres qui présentent ce défaut, pour montrer la sincérité complète des expériences, mais je les ai marqués d'un astérisque, dans les tableaux suivants, qui contiennent les résultats que j'ai retenus.

La première colonne de ces tableaux donne la distance  $d'$  observée des centres des deux boules, la seconde indique cette même distance  $d$  corrigée de l'influence, la troisième fait connaître la torsion observée  $\alpha'$  ou  $\beta'$  et la quatrième contient la torsion correspondante  $\alpha$  ou  $\beta$  du fil d'argent, c'est-à-dire la valeur exacte de la répulsion. Enfin j'ai indiqué pour chaque expérience l'épaisseur  $e$  de la lame employée, la distance  $c$  de la boule compensatrice au zéro en l'absence du diélectrique et cette même distance  $c'$  quand le diélectrique était interposé. Toutes les distances sont exprimées en centimètres.

EXP. I. — *Paraffine brune*

$$e = 3,54 \quad c = 13,5 \quad c' = 19,3$$

| I. — <i>Avec le diélectrique</i> |       |          |         | II. — <i>Sans le diélectrique</i> |       |           |          |
|----------------------------------|-------|----------|---------|-----------------------------------|-------|-----------|----------|
| $d'$                             | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ | $d'$                              | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
| * 22,40                          | 23,05 | 12       | 17      | 17,43                             | 18,08 | 14        | 20       |
| * 19,17                          | 19,85 | 16       | 23      | 12,93                             | 13,58 | 25        | 36,5     |
| 17,38                            | 18,03 | 17       | 25      | 10,56                             | 11,21 | 34        | 48,5     |
| 15,18                            | 15,83 | 23       | 33,5    | 9,68                              | 10,34 | 37,5      | 53       |
| 13,29                            | 13,94 | 29       | 42      | 8,53                              | 9,19  | 51,5      | 69       |
| 12,18                            | 12,83 | 34       | 48,5    |                                   |       |           |          |
| 11,28                            | 11,93 | 39,5     | 55,5    |                                   |       |           |          |
| 10,33                            | 10,91 | 48       | 65      |                                   |       |           |          |

EXP. II. — *Paraffine blanche*

$$e = 3,90 \quad c = 13,7 \quad c' = 15,6$$

| I. — <i>Avec le diélectrique</i> |       |          |         | II. — <i>Sans le diélectrique</i> |       |           |          |
|----------------------------------|-------|----------|---------|-----------------------------------|-------|-----------|----------|
| $d'$                             | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ | $d'$                              | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
| 18,96                            | 19,61 | 12       | 17      | 17,33                             | 17,98 | 11,5      | 16       |
| 16,97                            | 17,62 | 15       | 22      | * 15,61                           | 16,26 | 13,5      | 19       |
| 15,98                            | 16,63 | 17,5     | 25,5    | 14,24                             | 14,89 | 16,5      | 24       |
| 15,30                            | 15,95 | 19       | 27,5    | * 12,82                           | 13,47 | 18        | 26       |
| 14,30                            | 14,95 | 21,5     | 31      | 12,03                             | 12,68 | 21,5      | 31       |
| 12,80                            | 13,45 | 25,5     | 37      | 10,90                             | 11,55 | 24,5      | 35,5     |
| 11,74                            | 12,39 | 29,5     | 42,5    | 9,78                              | 10,44 | 28        | 40,5     |
| 10,67                            | 11,32 | 31,5     | 45,5    | 9,22                              | 9,88  | 30        | 43,5     |
|                                  |       |          |         | 8,16                              | 8,82  | 38        | 53,5     |

EXP. III. — Ébonite n° 1

$$e = 2,72 \quad c = 13,5 \quad c' = 16,8$$

I. — Avec le diélectrique

| $d'$  | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ |
|-------|-------|----------|---------|
| 19,99 | 20,64 | 16       | 23      |
| 17,40 | 18,05 | 21       | 30,5    |
| 15,17 | 15,82 | 26       | 37,5    |
| 13,26 | 13,91 | 33       | 47      |
| 10,67 | 11,32 | 46,5     | 63,5    |

*Autre série*

|       |       |      |      |
|-------|-------|------|------|
| 19,15 | 19,80 | 16,5 | 24   |
| 16,52 | 17,17 | 22   | 32   |
| 14,72 | 15,37 | 26   | 37,5 |
| 12,86 | 13,51 | 34,5 | 49   |
| 12,06 | 12,71 | 39   | 55   |
| 10,77 | 11,42 | 46   | 63   |
| 10,00 | 10,65 | 53   | 70,5 |
| 9,39  | 10,05 | 57   | 74,5 |

II. — Sans le diélectrique

| $d'$    | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
|---------|-------|-----------|----------|
| 15,72   | 16,37 | 20        | 29,5     |
| * 13,17 | 13,82 | 29        | 42       |
| 10,93   | 11,58 | 37        | 52,5     |
| 10,03   | 10,68 | 40        | 56       |
| 9,01    | 9,67  | 47        | 64       |
| 7,93    | 8,59  | 59        | 76       |

EXP. IV. — Ébonite n° 2

$$e = 2,12 \quad c = 15 \quad c' = 15,9$$

I. — Avec le diélectrique

| $d'$   | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ |
|--------|-------|----------|---------|
| 18,60  | 19,25 | 15,5     | 22,5    |
| 16,19  | 16,84 | 21       | 30,5    |
| 13,52  | 14,17 | 28,5     | 41      |
| 12,60  | 13,25 | 35,5     | 50,5    |
| 11,40  | 12,05 | 37,5     | 53      |
| 10,18  | 10,83 | 48       | 65      |
| * 9,34 | 10,00 | 51       | 68,5    |

II. — Sans le diélectrique

| $d'$  | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
|-------|-------|-----------|----------|
| 16,49 | 17,14 | 16        | 23       |
| 14,35 | 15,00 | 24        | 34,5     |
| 12,83 | 13,48 | 23        | 40,5     |
| 11,97 | 12,62 | 32        | 46       |
| 10,50 | 11,15 | 37,5      | 53       |
| 9,24  | 9,90  | 42        | 58       |
| 8,88  | 9,54  | 50        | 67,5     |
| 7,93  | 8,59  | 56        | 73,5     |

EXP. V. — *Glace de Saint-Gobain, n° 1*

$$e = 1,73 \quad c = 13,5 \quad c' = 16,6$$

| I. — <i>Avec le diélectrique</i> |       |          |         | II. — <i>Sans le diélectrique</i> |       |           |          |
|----------------------------------|-------|----------|---------|-----------------------------------|-------|-----------|----------|
| $d'$                             | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ | $d'$                              | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
| 18,40                            | 19,05 | 16       | 23      | 18,72                             | 19,37 | 13        | 18,5     |
| 16,76                            | 17,41 | 18,5     | 27      | 17,20                             | 17,85 | 14,5      | 21       |
| 14,98                            | 15,63 | 23       | 33,5    | 14,90                             | 15,55 | 19,5      | 28,5     |
| 13,37                            | 14,02 | 26,5     | 38,5    | 12,01                             | 12,66 | 27        | 39,5     |
| 12,20                            | 12,85 | 30,5     | 44      | * 10,83                           | 11,48 | 28        | 40,5     |
| 10,96                            | 11,61 | 34,5     | 49      | 9,67                              | 10,33 | 35        | 50       |
| 9,96                             | 10,62 | 40       | 56      | 8,64                              | 9,30  | 40        | 56       |
| 9,13                             | 9,79  | 46       | 63      | 7,24                              | 7,90  | 53        | 70,5     |

EXP. VI. — *Glace n° 2*

$$e = 2,50 \quad c = 14,8 \quad c' = 19,3$$

| I. — <i>Avec le diélectrique</i> |       |          |         | II. — <i>Sans le diélectrique</i> |       |           |          |
|----------------------------------|-------|----------|---------|-----------------------------------|-------|-----------|----------|
| $d'$                             | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ | $d'$                              | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
| 17,72                            | 18,37 | 15       | 22      | 16,08                             | 16,73 | 14,5      | 21       |
| 17,47                            | 18,12 | 15,5     | 22,5    | 13,54                             | 14,19 | 18,5      | 27       |
| 15,51                            | 16,16 | 17       | 25      | 11,48                             | 12,13 | 24        | 34,5     |
| 15,48                            | 16,13 | 18,5     | 27      | 10,26                             | 10,91 | 28        | 40,5     |
| 13,22                            | 13,87 | 23,5     | 34      | 9,17                              | 9,83  | 31        | 45       |
| * 11,33                          | 11,98 | 25,5     | 37      | 7,68                              | 8,34  | 39,5      | 45,5     |
| 10,48                            | 11,13 | 31,5     | 45,5    |                                   |       |           |          |
| 10,04                            | 10,69 | 33,5     | 48      |                                   |       |           |          |
| 9,24                             | 9,90  | 39,5     | 55,5    |                                   |       |           |          |

EXP. VII. — Soufre n° 1

$$e=2,87 \quad c=14,2 \quad c'=17$$

I. — Avec le diélectrique

| $d'$  | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ |
|-------|-------|----------|---------|
| 18,40 | 19,05 | 10       | 14      |
| 16,50 | 17,15 | 12       | 17      |
| 13,59 | 14,24 | 17,5     | 25,5    |
| 11,41 | 12,06 | 21,5     | 31      |
| 10,72 | 11,37 | 25,5     | 37      |
| 10,37 | 11,02 | 28,5     | 41      |

II. — Sans le diélectrique

| $d'$    | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
|---------|-------|-----------|----------|
| * 16,24 | 16,89 | 8         | 11       |
| * 14,80 | 15,45 | 9,5       | 13       |
| 13,35   | 14,00 | 14        | 20       |
| 12,30   | 12,95 | 15        | 22       |
| 11,12   | 11,77 | 18        | 26       |
| 9,89    | 10,55 | 20,5      | 30       |
| 8,43    | 9,09  | 27        | 39,5     |

EXP. VIII. — Soufre n° 2

$$e=4,50 \quad c=13,5 \quad c'=22,2$$

I. — Avec le diélectrique

| $d'$    | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ |
|---------|-------|----------|---------|
| * 19,34 | 19,99 | 21       | 30,5    |
| * 16,78 | 17,43 | 26,5     | 38,5    |
| 14,42   | 15,07 | 31       | 45      |
| 12,43   | 13,08 | 39,5     | 55,5    |
| 11,25   | 11,90 | 47       | 64      |
| 13,50   | 14,15 | 34,5     | 49      |
| 15,43   | 16,08 | 28,5     | 41      |
| 17,47   | 18,12 | 22,5     | 33      |
| 19,35   | 20,00 | 18,5     | 27      |
| * 21,00 | 21,65 | 13       | 18,5    |

II. — Sans le diélectrique

| $d'$  | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
|-------|-------|-----------|----------|
| 16,38 | 17,03 | 18,5      | 27       |
| 15,71 | 16,36 | 20,5      | 30       |
| 13,22 | 13,87 | 25,5      | 37       |
| 11,95 | 12,60 | 28,5      | 41       |
| 11,03 | 11,68 | 32,5      | 46,5     |
| 9,92  | 10,58 | 37,5      | 53       |
| 8,89  | 9,55  | 42        | 58       |
| 8,17  | 8,83  | 47,5      | 64,5     |
| 7,50  | 8,16  | 51,5      | 69       |

EXP. IX. — Soufre n° 3

(SUSPENSION UNIFILAIRE EN FIL D'ARGENT)

$$e = 3,60$$

| I. — Avec le diélectrique |       |         | II. — Sans le diélectrique |       |          |
|---------------------------|-------|---------|----------------------------|-------|----------|
| $d'$                      | $d$   | $\beta$ | $d'$                       | $d$   | $\alpha$ |
| * 21,32                   | 21,97 | 45      | * 21,65                    | 22,30 | 42       |
| 20,16                     | 20,81 | 61      | 20,01                      | 20,66 | 45       |
| 18,40                     | 19,05 | 70      | 18,23                      | 18,88 | 57       |
| 18,28                     | 18,93 | 74      | 17,02                      | 17,67 | 65       |
| 16,41                     | 17,06 | 89      | 16,68                      | 17,33 | 68       |
| 15,97                     | 16,62 | 98      | 16,10                      | 16,75 | 76       |
| 14,99                     | 15,64 | 106     | 14,92                      | 15,67 | 85,5     |
| 13,86                     | 14,51 | 127     | 13,67                      | 14,32 | 97       |
| 13,04                     | 13,69 | 137     | 12,95                      | 13,60 | 104,5    |
| 11,85                     | 12,50 | 164     | 11,85                      | 12,50 | 122      |
| 11,04                     | 11,69 | 191     | 10,43                      | 11,08 | 146      |
|                           |       |         | 9,65                       | 10,31 | 166      |
|                           |       |         | 8,58                       | 9,24  | 213      |

EXP. X. — Soufre n° 4

(PLAQUE FONDUE DEPUIS SIX MOIS)

$$e = 2,46 \quad c = 13,5 \quad c' = 17,1$$

| I. — Avec le diélectrique |       |          |         | II. — Sans le diélectrique |       |           |          |
|---------------------------|-------|----------|---------|----------------------------|-------|-----------|----------|
| $d'$                      | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ | $d'$                       | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
| 23,37                     | 24,02 | 17       | 25      | 23,21                      | 23,86 | 16        | 23       |
| 20,33                     | 20,98 | 23       | 33,5    | 19,09                      | 19,74 | 22        | 31,5     |
| * 18,07                   | 18,72 | 26       | 37,5    | 17,21                      | 17,86 | 26        | 37,5     |
| 15,47                     | 16,12 | 40       | 56      | 13,54                      | 14,19 | 39        | 55       |
| 13,67                     | 14,32 | 48       | 65      | 12,31                      | 12,96 | 45        | 61,5     |
| 11,85                     | 12,50 | 60       | 77      | * 10,35                    | 11,00 | 52        | 69,5     |
| 10,07                     | 10,72 | 89       | 91      | 9,00                       | 9,66  | 68        | 83,5     |
|                           |       |          |         | 8,11                       | 8,77  | 83        | 90       |

EXP. XI. — *Essence de térébenthine*

$$e = 3,00 \quad c = 20 \quad c' = 19,8$$

| I. — <i>Avec le diélectrique</i> |       |          |         | II. — <i>Sans le diélectrique</i> |       |           |          |
|----------------------------------|-------|----------|---------|-----------------------------------|-------|-----------|----------|
| $d'$                             | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ | $d'$                              | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
| 30,92                            | 31,57 | 7        | 9       | 29,09                             | 29,74 | 7,5       | 10       |
| 29,52                            | 30,17 | 8,5      | 12      | 25,35                             | 26,00 | 13        | 18,5     |
| 26,91                            | 27,56 | 12       | 17      | 23,47                             | 24,12 | 16,5      | 24       |
| 24,56                            | 25,21 | 16,5     | 24      | 21,39                             | 22,04 | 20        | 29,5     |
| 20,74                            | 21,39 | 26       | 37,5    | 19,53                             | 20,18 | 25,5      | 37       |
| 19,04                            | 19,69 | 28,5     | 41      | 18,10                             | 18,75 | 29        | 42       |
| * 17,68                          | 18,33 | 30,5     | 44      | 16,30                             | 16,95 | 33,5      | 48       |
| 16,41                            | 17,06 | 36,5     | 51,5    |                                   |       |           |          |

EXP. XII. — *Sulfure de carbone*

$$e = 3,00 \quad c = 18,9 \quad c' = 19,5$$

| I. — <i>Avec le diélectrique</i> |       |          |         | II. — <i>Sans le diélectrique</i> |       |           |          |
|----------------------------------|-------|----------|---------|-----------------------------------|-------|-----------|----------|
| $d'$                             | $d$   | $\beta'$ | $\beta$ | $d'$                              | $d$   | $\alpha'$ | $\alpha$ |
| * 30,37                          | 31,02 | 13       | 18,5    | 27,40                             | 28,05 | 13,5      | 19       |
| * 27,66                          | 28,31 | 17       | 25      | 24,98                             | 25,63 | 16,5      | 24       |
| 25,73                            | 26,38 | 19       | 27,5    | 22,58                             | 23,23 | 21,5      | 31       |
| 23,88                            | 24,53 | 22       | 32      | 20,45                             | 21,10 | 26        | 37,5     |
| * 22,33                          | 22,98 | 27       | 39,5    | 18,54                             | 19,19 | 31        | 45       |
| 19,64                            | 20,29 | 31       | 45      | 16,92                             | 17,57 | 37        | 52,5     |
| 18,40                            | 19,05 | 36       | 51      |                                   |       |           |          |
| 17,41                            | 18,06 | 42       | 58      |                                   |       |           |          |
| 15,99                            | 16,64 | 51       | 68,5    |                                   |       |           |          |

### CHAPITRE III

#### Discussion des expériences précédentes.

Les tableaux qui précèdent montrent immédiatement que l'interposition d'une lame diélectrique à faces parallèles a pour effet d'augmenter la répulsion des deux boules. Pour interpréter plus complètement ce résultat, je construis pour chaque expérience deux courbes ayant pour abscisses les distances corrigées  $d$  et pour ordonnées les forces répulsives  $\beta$  et  $\alpha$  avec ou sans le diélectrique.

En comparant ces courbes, qui sont toutes deux de forme hyperbolique, il m'a paru qu'elles sont identiques et que la seconde peut se déduire de la première en diminuant toutes les abscisses d'une même quantité  $\delta$ , constante pour une même plaque et proportionnelle à son épaisseur  $e$ , sans modifier la valeur des ordonnées. L'interposition du diélectrique produirait donc, au moins dans les limites de mes expériences, le même effet que si l'on rapprochait les boules de la distance  $\delta$ . Comme d'ailleurs  $\delta$  dépend de la nature de la plaque, je poserai

$$\delta = e f(k)$$

J'ai mesuré, pour toutes les expériences, la valeur de  $\delta$  sur les courbes elles-mêmes, dont la distance horizontale est toujours bien uniforme, au moins dans la plus grande partie de leur longueur. Les extrémités seules sont quelquefois mal déterminées, surtout à la partie inférieure, qui correspond aux grandes distances et aux faibles torsions.

Pour avoir plus d'exactitude, j'ai construit pour chaque expérience deux courbes à des échelles différentes: dans la seconde, j'ai doublé l'unité prise pour les ordonnées, sans modifier celle des abscisses. Le tableau suivant donne les valeurs  $\delta_1$  et  $\delta_2$ , déduites de ces deux séries de courbes, et leur moyenne  $\delta$ , ainsi que les valeurs de  $f(k) = \frac{\delta}{e}$

|      | Substances                      | $e$  | $\delta_1$ | $\delta_2$ | $\delta$ | $f(k)$ |
|------|---------------------------------|------|------------|------------|----------|--------|
| I    | Paraffine brune .....           | 3,54 | 1,80       | 1,75       | 1,775    | 0,50   |
| II   | Paraffine blanche.....          | 3,90 | 2,10       | 2,20       | 2,15     | 0,55   |
| III  | Ébonite n° 1 .....              | 2,72 | 1,50       | 1,50       | 1,50     | 0,55   |
| IV   | » n° 2 .....                    | 2,12 | 1,30       | 1,25       | 1,275    | 0,60   |
| V    | Glace de Saint-Gobain n° 1..... | 1,73 | 1,20       | 1,20       | 1,20     | 0,69   |
| VI   | » n° 2.....                     | 2,50 | 1,40       | 1,40       | 1,40     | 0,56   |
| VII  | Soufre n° 1.....                | 2,87 | 1,85       | 1,80       | 1,825    | 0,63   |
| VIII | » n° 2.....                     | 4,50 | 3,00       | 3,00       | 3,00     | 0,66   |
| IX   | » n° 3.....                     | 3,60 | 2,10       | 2,10       | 2,10     | 0,58   |
| X    | » n° 4 (fondu depuis 6 mois) .  | 2,46 | 1,80       | 1,80       | 1,80     | 0,73   |
| XI   | Essence de térébenthine .....   | 3,00 | 1,10       | 1,10       | 1,10     | 0,37   |
| XII  | Sulfure de carbone.....         | 3,00 | 1,25       | 1,30       | 1,275    | 0,42   |

Il reste à déterminer la forme qui convient le mieux pour  $f(k)$ . J'ai essayé les formes empiriques suivantes :

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \frac{k-1}{z} \\
 (2) \quad & \frac{k-1}{k} \\
 (3) \quad & \frac{3k-1}{2k+1} \\
 (4) \quad & 2 \frac{k-1}{k+2}
 \end{aligned}$$

qui donnent des résultats identiques pour  $k=1$  et  $k=2$ . Voici les valeurs que donnent ces quatre formules.

|      | Substances                     | $k_1$ | $k_2$ | $k_3$ | $k_4$ |
|------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| I    | Paraffine brune.....           | 2,00  | 2,00  | 2,00  | 2,00  |
| II   | Paraffine blanche.....         | 2,10  | 2,22  | 2,15  | 2,13  |
| III  | Ébonite n° 1.....              | 2,10  | 2,22  | 2,15  | 2,13  |
| IV   | » n° 2.....                    | 2,20  | 2,50  | 2,33  | 2,28  |
| V    | Glace n° 1.....                | 2,38  | 3,22  | 2,70  | 2,58  |
| VI   | » n° 2.....                    | 2,12  | 2,27  | 2,19  | 2,16  |
| VII  | Soufre n° 1.....               | 2,26  | 2,70  | 2,44  | 2,38  |
| VIII | » n° 2.....                    | 2,32  | 2,94  | 2,57  | 2,47  |
| IX   | » n° 3.....                    | 2,16  | 2,38  | 2,26  | 2,22  |
| X    | » n° 4 (fondu depuis 6 mois) . | 2,46  | 3,70  | 2,89  | 2,72  |
| XI   | Essence de térébenthine .....  | 1,74  | 1,58  | 1,65  | 1,68  |
| XII  | Sulfure de carbone.....        | 1,84  | 1,72  | 1,77  | 1,79  |

On voit que ces quatre formules donnent des nombres à peu près identiques ; on pourrait en construire de même beaucoup d'autres qui conduiraient au même résultat. Les deux premières sont peut-être les plus intéressantes. La première donne les nombres les plus concordants.

La seconde présente deux défauts de concordance, l'un pour les deux glaces de Saint-Gobain, l'autre pour la plaque de soufre n° 4, qui ne s'accorde pas avec les trois autres ; mais c'est une plaque qui était fondue depuis plus de six mois lorsque je l'ai employée, tandis que les autres ont été introduites dans l'appareil aussitôt après leur fabrication. J'ai d'ailleurs obtenu la même différence dans les mêmes conditions avec d'autres plaques non indiquées ici. Mais on sait que M. Gordon a observé que le pouvoir inducteur du verre augmente notablement avec le temps : il n'est pas surprenant qu'il en soit de même pour le soufre.

Le cas des deux glaces de Saint-Gobain peut s'expliquer soit par la même raison, soit par une différence de composition ; rien ne me garantit qu'elles soient formées de verre identique.

Les deux défauts de concordance offerts par la formule (2) sont donc facilement explicables. D'un autre côté, elle a l'avantage de donner pour  $\delta$  une expression analogue à celle qu'on obtient dans les condensateurs. On a en effet :

$$(5) \quad \delta = e \left( 1 - \frac{1}{k} \right)$$

On voit donc que, si l'on admet cette formule, l'introduction du diélectrique produit, au moins dans les limites de mes expériences, le même effet que si l'on rapprochait les deux boules de  $e \left( 1 - \frac{1}{k} \right)$  ou si l'on remplaçait le diélectrique par une épaisseur d'air  $\frac{e}{k}$ .

*Discussion des résultats au moyen de la formule de Coulomb.* — On peut arriver au même résultat par une autre voie, mais avec moins d'exactitude. En l'absence du diélectrique, la répulsion des boules est exprimée par la loi de Coulomb

$$(6) \quad F = \frac{mm'}{d^2}$$

Lorsqu'on interpose la lame isolante, il résulte de ce qui précède que la répulsion devient

$$F' = \frac{mm'}{(d-\varepsilon)^2}$$

ou

$$(7) \quad F' = \frac{mm'}{d^2 \left[ 1 - \frac{e}{d} f(k) \right]^2}$$

F et F' étant proportionnelles aux torsions corrigées  $\alpha$  et  $\beta$ , on tire :

$$(8) \quad f(k) = \frac{d}{e} \left( 1 - \sqrt{\frac{\alpha}{\beta}} \right)$$

On peut encore remplacer la formule (7) par la formule approchée :

$$F' = \frac{mm'}{d^2} \left[ 1 + \frac{2e}{d} f(k) \right]$$

qui, divisée par (6), donne :

$$(9) \quad f(k) = \frac{d}{2e} \frac{\beta - \alpha}{\alpha}$$

Pour chacune des plaques, j'ai calculé un certain nombre de valeurs de  $f(k)$  à l'aide des courbes en me servant autant que possible des points obtenus directement par expérience, et j'ai pris les moyennes de ces valeurs. J'ai utilisé ensuite ces nombres pour calculer de nouvelles valeurs de la constante diélectrique, d'après les formes (1), (2)... indiquées plus haut : je me suis borné aux deux premières. Les nombres donnés par (8) et (9) sont à peu près d'accord avec ceux du tableau qui précède. Les différences peuvent être attribuées aux écarts des expériences avec la loi de Coulomb, dont j'ai indiqué plus haut l'origine. Voici ces résultats :

| Substances                  | Formule (8) |       |       | Formule (9) |       |       |
|-----------------------------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
|                             | $f(k)$      | $k_1$ | $k_2$ | $f(k)$      | $k_1$ | $k_2$ |
| I Paraffine brune.....      | 0,41        | 1,82  | 1,70  | 0,48        | 1,96  | 1,92  |
| II Paraffine blanche.....   | 0,46        | 1,92  | 1,85  | 0,58        | 2,16  | 2,38  |
| III Ébonite n° 1.....       | 0,40        | 1,80  | 1,67  | 0,47        | 1,94  | 1,89  |
| IV » n° 2.....              | 0,44        | 1,88  | 1,79  | 0,49        | 1,98  | 1,96  |
| V Glace n° 1.....           | 0,53        | 2,06  | 2,13  | 0,59        | 2,18  | 2,44  |
| VI » n° 2.....              | 0,40        | 1,80  | 1,67  | 0,45        | 1,90  | 1,82  |
| VII Soufre n° 1.....        | 0,54        | 2,08  | 2,17  | 0,65        | 2,30  | 2,85  |
| VIII » n° 2.....            | 0,48        | 1,96  | 1,92  | 0,62        | 2,24  | 2,63  |
| IX » n° 3.....              | 0,51        | 2,02  | 2,04  | 0,63        | 2,26  | 2,70  |
| X » n° 4.....               | 0,51        | 2,02  | 2,04  | 0,57        | 2,14  | 2,33  |
| XI Essence de térébenthine. | 0,42        | 1,84  | 1,72  | 0,46        | 1,92  | 1,85  |
| XII Sulfure de carbone..... | 0,39        | 1,78  | 1,64  | 0,43        | 1,86  | 1,76  |

## CHAPITRE IV

### Expériences relatives à l'attraction de deux plateaux

J'ai examiné aussi comment l'interposition d'un diélectrique modifie l'attraction de deux plateaux parallèles. Je me sers pour cela d'une balance de précision, dont le fléau porte, à une extrémité, un plateau ordinaire pour recevoir des poids, à l'autre bout, le plateau mobile de l'appareil électrique, supporté par une tige d'ébonite. Ce plateau, qui a 12 cm. de diamètre, est entouré d'un anneau de garde, muni d'une sorte de couvercle qui recouvre le plateau et qui est seulement percé d'un trou pour laisser passer la tige d'ébonite. L'anneau de garde est rattaché par trois tiges verticales filetées à un plateau de laiton placé tout au haut de la cage. Ce plateau peut subir un léger déplacement dans tous les

sens et la longueur des tiges peut être réglée au moyen d'écrous; on peut ainsi amener l'anneau de garde dans le plan du plateau mobile et le centrer exactement.

Le plateau fixe, qui a 19 cm. de diamètre, est placé au-dessous du premier, à une distance variable; un support à trois vis calantes permet de régler le parallélisme. Ce support est traversé par trois tiges d'ébonite qui soutiennent le diélectrique; elles sont maintenues par des vis de serrage, de sorte qu'on peut les élever ou les abaisser pour rendre la lame isolante bien parallèle aux plateaux. De part et d'autre de cette lame, on laisse des épaisseurs d'air aussi faibles que possible; on est cependant obligé de laisser au-dessus un petit espace pour les oscillations du plateau mobile.

La cage ordinaire de la balance a été divisée en deux parties par une cloison verticale, perpendiculaire au fléau, qui sépare l'appareil électrique du plateau destiné à recevoir les poids. La première partie de la cage renferme des matières desséchantes.

Les appareils destinés à fournir la charge électrique sont à peu près les mêmes que dans la première partie de ce travail, mais la bobine de Ruhmkorff a été remplacée par une autre, de construction plus récente, donnant deux centimètres d'étincelle; elle est actionnée par six éléments Bunsen. L'un des pôles de cette bobine communique avec le plateau fixe et avec l'armature intérieure d'une jarre dont la capacité est, suivant les cas, 70 à 150 fois plus grande que celle du condensateur formé par les plateaux. L'autre pôle, l'armature extérieure de la jarre, le plateau mobile et le fléau de la balance sont reliés au sol. Je me suis assuré que les résultats ne varient pas, soit lorsqu'on intervertit la communication des deux plateaux, soit lorsqu'on supprime la jarre, qui était destinée à mieux assurer la constance de la différence de potentiel.

J'ai employé des plaques de soufre, de paraffine, d'ébonite et trois liquides, le pétrole, l'essence de térébenthine et le sulfure de carbone. Les lames de soufre et de paraffine ont été obtenues par fusion, comme je l'ai indiqué plus haut, et leur épaisseur a été mesurée par le même procédé.

La distance totale des deux plateaux est aussi mesurée au cathétomètre, en cinq points différents, et l'on prend la moyenne.

Les liquides sont placés dans une cuve en glace mince, reposant aussi sur les trois tiges d'ébonite, et leur épaisseur, qui n'est jamais égale à

la profondeur totale de la cuve, est mesurée au cathétomètre. Le diamètre de la cuve et celui des plaques solides est supérieur à celui du plateau fixe.

Le diélectrique, lorsqu'il est solide, est placé dans la cage, réglé et abandonné pendant plusieurs jours dans l'appareil fermé pour lui laisser le temps de perdre toute trace d'électricité. La balance contenant une tare un peu trop faible et toutes les pièces communiquant avec le sol, j'achève d'établir l'équilibre avec un poids  $p$ . Je charge le plateau fixe et j'établis de nouveau l'équilibre avec un poids  $P$ . Je remets ce plateau en communication avec le sol, et j'équilibre encore par un poids  $p'$ . Je représente l'attraction des plateaux par

$$F = P - \frac{p + p'}{2}.$$

J'enlève rapidement le diélectrique et, refermant la cage, je détermine l'attraction  $F'$  des deux plateaux, séparés par l'air, au moyen de trois opérations semblables aux premières.

J'opère de même pour les liquides, mais, afin d'éviter l'évaporation, je détermine d'abord  $F'$ , la cuve vide étant placée d'avance. Puis je verse le liquide et je mesure aussitôt la valeur de  $F$ . Dans les deux cas, il faut faire une petite correction, qui consiste à remplacer l'épaisseur du fond de la cuve par l'épaisseur d'air équivalente. J'ai supposé la constante diélectrique de ce verre égale à 2,5.

Il est facile de voir que les résultats de ces expériences vérifient la formule connue, qui représente le rapport des attractions des deux plateaux dans le cas étudié.

$$(10) \quad \frac{F}{F'} = \left( \frac{e + e'}{\frac{e}{k} + e'} \right)^2$$

J'appelle  $e$  l'épaisseur du diélectrique,  $e'$  la somme des épaisseurs d'air qui se trouvent de part et d'autre de celui-ci.

Pour vérifier cette formule, je calcule dans chaque expérience le rapport  $\frac{F}{F'}$ , puis le rapport corrigé

$$R = \frac{F}{F'} \left( \frac{e + k e'}{e + e'} \right)^2$$

D'après (10), on doit avoir

$$\sqrt{R} = k$$

Le tableau suivant, qui donne les valeurs de  $e$  et de  $e'$  en centimètres, celles de  $F$  et de  $F'$  en milligrammes, montre que les valeurs de  $\sqrt{R}$  concordent avec les valeurs de  $k$  indiquées par les travaux les plus récents et avec celles de  $k_2$ , déduites plus haut de l'équation (5).

Si l'on suppose en particulier que la somme  $e'$  des épaisseurs d'air devienne négligeable, le rapport  $\frac{F}{F'}$  devient donc égal à  $k^2$ .

| Substances               | $e$  | $e'$ | $F$   | $F'$  | $\frac{F}{F'}$ | $R$  | $\sqrt{R}$ |
|--------------------------|------|------|-------|-------|----------------|------|------------|
| Paraffine n° 1 .....     | 2,20 | 0,70 | 39,5  | 17,25 | 2,29           | 3,53 | 1,88       |
| » » .....                | »    | 0,66 | 40,5  | 14    | 2,89           | 4,38 | 2,09       |
| Paraffine n° 2 .....     | 3,37 | 0,61 | 30,5  | 9     | 3,39           | 4,51 | 2,12       |
| » » .....                | »    | 0,68 | 23,5  | 7,25  | 3,24           | 4,42 | 2,10       |
| Soufre.....              | 3,56 | 0,54 | 48,5  | 9,75  | 4,97           | 7,27 | 2,70       |
| » .....                  | »    | 0,65 | 53,5  | 13    | 4,11           | 6,39 | 2,52       |
| Ébonite.....             | 2,04 | 0,32 | 72,75 | 18,75 | 3,88           | 5,39 | 2,32       |
| Sulfure de carbone.....  | 2,60 | 1,09 | 22    | 11,5  | 1,91           | 2,78 | 1,67       |
| Essence de térébenthine. | 2,77 | 0,79 | 26,25 | 13    | 2,02           | 2,49 | 1,58       |
| Pétrole.....             | 2,88 | 0,71 | 19,50 | 8     | 2,43           | 3,38 | 1,84       |

Je ferai remarquer en terminant que l'attraction des deux plateaux parallèles fournit, pour la détermination des constantes diélectriques, une méthode plus simple et plus rapide que celles dont on s'est servi jusqu'ici. Il suffit d'ajouter aux balances de précision qu'on trouve dans tous les laboratoires quelques pièces dont la fabrication ne présente aucune difficulté. Enfin cette méthode repose sur une formule parfaitement démontrée.

## CONCLUSIONS

1° J'ai étudié, à l'aide de la balance de Coulomb, l'effet produit par l'interposition d'un diélectrique, solide ou liquide, à faces parallèles, dans un champ dû à un seul point électrisé.

2° Cet effet est le même, au moins dans les limites de mes expériences, que si le diélectrique d'épaisseur  $e$  était remplacé par une épaisseur d'air  $e - \delta$ .

3° La distance  $\delta$  peut être mesurée sur les courbes qui représentent les expériences ; constante pour une même lame, elle paraît proportionnelle à l'épaisseur et dépend de la nature de la lame ; elle peut donc être représentée par  $\delta = e f(k)$ .

4° Après avoir calculé  $f(k)$  au moyen de la relation précédente, j'ai essayé diverses formules empiriques choisies de façon à annuler  $f(k)$  pour  $k = 1$  et à donner des valeurs identiques pour  $k = 2$ . Toutes ces formules conviennent également : en particulier, la forme

$$f(k) = \frac{k-1}{2}$$

donne pour  $k$  des valeurs très concordantes. Une autre forme

$$f(k) = \frac{k-1}{k}$$

montre que l'effet produit est le même, dans les limites de mes expériences, que si la lame diélectrique d'épaisseur  $e$  était remplacée par une épaisseur d'air  $\frac{e}{k}$ .

5° La discussion faite en partant de la loi de Coulomb conduit aux mêmes résultats.

6° J'ai étudié l'attraction de deux plateaux parallèles séparés soit par l'air, soit par un diélectrique solide ou liquide non en contact intime avec leur surface. J'ai vérifié que cette attraction est conforme à la for-

mule connue. En particulier, lorsque la somme des épaisseurs d'air de part et d'autre de la lame isolante devient négligeable, le rapport des attractions avec ou sans diélectrique est représenté par  $k^2$ .

7° Cette dernière expérience fournit pour la mesure de la constante diélectrique une méthode très simple et très pratique.

*Vu et approuvé :*

Paris, le 16 mai 1893.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS,

G. DARBOUX.

*Vu et permis d'imprimer :*

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

GRÉARD.

## SECONDE THÈSE

Combinaisons de l'oxyde de carbone avec les métaux et avec  
les chlorures métalliques. — Dérivés de ces composés

*Vu et approuvé :*

Paris, le 16 mai 1893.

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS,

G. DARBOUX.

*Vu et permis d'imprimer :*

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

GRÉARD.





